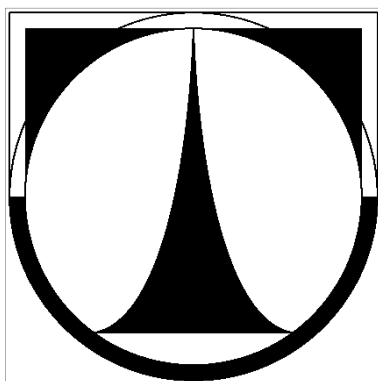


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Ústav zdravotnických studií

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE



2011

Michal Sklenář

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Ústav zdravotnických studií

Studijní program: B 3944 – Biomedicínská technika

Studijní obor: 3901R032 – Biomedicínská technika

Uvedení laserového zařízení do klinického provozu

Introduction of laser technology in clinical use

Bakalářská práce

Autor: **Michal Sklenář**

Vedoucí práce: **Ing. Petr Kudrna**

V Liberci 2011

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Ústav zdravotnických studií
Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Michal SKLENÁŘ**
Osobní číslo: **Z08000009**
Studijní program: **B3944 Biomedicínská technika**
Studijní obor: **Biomedicínská technika**
Název tématu: **Uvedení laserového zařízení do klinického provozu.**
Zadávací katedra: **Ústav zdravotnických studií**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem práce je vytvořit souhrnný (komplexní) návod pro zavedení laserového zařízení do klinického provozu.

Zmapování legislativních požadavků, zohlednění akreditačních institucí.

Návrh a realizace postupů, vedoucích k bezpečnému a bezproblémovému provozu těchto laserových zařízení.

Součástí bakalářské práce bude databázová aplikace, která zajistí evidenci lékařských prohlídek personálu a upozorní uživatele na včasnost těchto prohlídek.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

50-70 stran

Forma zpracování bakalářské práce:

tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

123/2000 Sb. Zákon o zdravotnických prostředcích a o změně některých souvisejících zákonů.

Uveřejněno v č. 36/2000 Sbírky zákonů.

258/2000 Sb. Zákon o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů.

Uveřejněno v č. 74/2000 Sbírky zákonů na straně 3622.

432/2003 Sb. Vyhláška, kterou se stanoví podmínky pro zařazování prací do kategorií, limitní hodnoty ukazatelů biologických expozičních testů, podmínky odběru biologického materiálu pro provádění biologických expozičních testů a náležitosti hlášení prací s azbestem a biologickými činiteli. Uveřejněno v č. 142/2003 Sbírky zákonů na straně 7210.

Nařízení o ochraně zdraví před neionizujícím zářením.

Uveřejněno v č. 1/2008 Sbírky zákonů na straně 2.

Elektronické přístroje v lékařství, Jiří Rozman, Academia, 2006.

Database systems, Thomas M. Connolly and Carolyn E. Begg. New York: Harlow 2002.

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Petr Kudrna


Ústav zdravotnických studií

Datum zadání bakalářské práce:

30. dubna 2010

Termín odevzdání bakalářské práce:


30. dubna 2011


prof. Dr. Ing. Zdeněk Kůs
rektor

V Liberci dne 30. listopadu 2010

L.S.




doc. MUDr. Jaromír Mysliveček, Ph.D.
ředitel

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon 121/2000 Sb. ze dne 7. dubna 2000 o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), zejména § 60 - Školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL. V tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultanty.

Datum: 27. 4. 2011

Podpis:

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized 'S' followed by a horizontal line and a small loop.

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Petru Kudrnovi za jeho cenné rady, podněty a trpělivou pomoc. V neposlední řadě Ing. Václavu Marešovi za rady a připomínky k databázové aplikaci.

Dále bych také rád poděkoval svým rodičům za jejich podporu nejen během mého studia na Technické univerzitě v Liberci.

Anotace

Tato bakalářská práce se věnuje problematice zavádění laserových lékařských přístrojů do klinického provozu, kde je třeba zohledňovat práci s vysokoenergetickým zářením, ale i zdravotnickým prostředkem. V práci je popsán vznik laserového záření, samotný laserový přístroj, interakce záření s tkání, využití v medicíně, legislativní požadavky a zejména realizace ochranných opatření a jejich přiřazení třídě laserového zařízení. Zároveň je v práci věnován prostor pro specializovanou databázi, určenou ke správě lékařských vyšetření personálu, který pracuje s laserovým zařízením vyšší třídy.

Klíčová slova: Laser, laserové záření, legislativní předpisy, bezpečnost, směrnice, databáze

Annotation

This bachelor thesis is dedicated to the introduction of laser medical device in clinical use, where you need to take into account work with high-energy radiation as well as medical device. In the thesis are described formation of laser radiation, the laser device, the interaction of radiation with tissue, the use in medicine, the legislative requirements and especially the implementation of protective measures and assign the class of laser devices. At the same time in thesis is dedicated space for specialized database designed to manage the medical examinations personnel working with higher class of laser device.

Key words: Laser, laser radiation, legislative regulations, safety, guideline, database

Obsah

Seznam tabulek	9
Seznam obrázků	9
1. Úvod	11
2. Motivace	12
3. Laser	13
3.1 Odborné výrazy	13
3.2 Princip funkce laseru	14
3.3 Kvantové děje	15
3.4 Aktivní prostředí	17
3.5 Optický rezonátor	19
3.6 Dělení laserů	20
4. Účinky laserového záření na tkáň	21
4.1 Primární účinky	21
4.2 Sekundární účinky	23
5. Využití laserů v medicíně	27
5.1 Oftalmologie	27
5.2 Dermatologie	28
5.3 Chirurgie	28
5.4 Stomatologie	29
5.5 Lasery určené k biostimulaci	30
6. Legislativní předpisy	31
6.1 Zákon 123/2000 Sb.	31
6.2 Zákon 258/2000 Sb.	32
6.3 Zákon 309/2006 Sb.	33
6.4 Nařízení vlády 1/2008 Sb.	33
6.5 Nařízení vlády 336/2004 Sb.	34
6.6 Vyhláška 432/2003 Sb.	35
7. Třídy laserového zařízení	36
8. Provoz laserového zařízení ve zdravotnictví	38
8.1 Termíny	38

8.2	Odpovědnosti a pravomoci	39
8.3	Bezpečnostní požadavky a opatření pro lasery třídy I, II, IIIa.....	40
8.4	Bezpečnostní požadavky a opatření pro lasery třídy IIIb, IV	41
8.5	Další bezpečnostní opatření	42
8.6	Technická dokumentace.....	43
8.7	Povinnosti vůči orgánu ochrany veřejného zdraví.....	44
8.8	Možná ohrožení.....	46
8.9	Vyšetření očního pozadí.....	47
9.	Postup pro zařazení laserového zařízení do klinického provozu.....	48
9.1	Stávající postupy	48
9.2	Nový návrh postupu	49
10.	Databáze.....	54
10.1	Požadavky na DB.....	54
10.2	DB prostředí pro vývoj.....	54
10.3	Popis uživatelského prostředí výsledné DB	55
11.	Závěr	59
	Seznam použité literatury	60
	Přílohy k bakalářské práci.....	63
A.1	Bezpečnostní tabulky	64
A.2	Bezpečnostní plakát.....	65
A.3	Seznam úkolů	66
A.4	Směrnice.....	67
A.5	Zdrojový kód	78
	Přiložené CD	

Seznam tabulek

Tab. 1 – Pevnolátkové lasery

Tab. 2 – Barvivové lasery

Tab. 3 – Plynové lasery – atomární

Tab. 4 – Plynové lasery – iontové

Tab. 5 – Plynové lasery – molekulární

Tab. 6 – Polovodičové lasery

Seznam obrázků

Obr. 1 – Konstrukce laseru

Obr. 2 – Energetické hladiny kvantové soustavy

Obr. 3 – Kvantový přechod zářivý

Obr. 4 – Kvantový přechod nezářivý

Obr. 5 – Přechody mezi hladinami

Obr. 6 – Zesilující prostředí v rezonátoru

Obr. 7 – Režimy práce laseru

Obr. 8 – Fyzikální jevy nastávající při interakci laserového záření s tkání

Obr. 9 – Graf závislosti hustoty výkonu na době expozice

Obr. 10 – Účinky tepelné interakce na tkáň

Obr. 11 – Excimerový laser pro oftalmologii

Obr. 12 – Vysokovýkonný erbiový laser FIDELIS Er:YAG Fotona

Obr. 13 – Použití vhodných ochranných brýlí

Obr. 14 – Fotografie výsledků interakce laserového záření Nd:YAG (a) a
Er:YAG (b) laserů se zubní tkání

Obr. 15 – Vzájemné propojení mezi jednotlivými pozicemi

Obr. 16 – Bezpečnostní symbol laseru třídy II a vyšší

Obr. 17 – Ochranné brýle

Obr. 18 – Světelná signalizace chodu laseru nad vstupními dveřmi

Obr. 19 – Elektromagnetické spektrum s vybranými lasery

Obr. 20 – Vyšetření očního pozadí

Obr. 21 – Zavedení laserového zařízení do klinického provozu

Obr. 22 – Hierarchie právních předpisů a standardů

Obr. 23 – Úvodní zobrazení databáze

Obr. 24 – Přidat personál

Obr. 25 – Editace personálu

Obr. 26 – Seznam oddělení

Obr. 27 – Přidávání a editace oddělení

Obr. 28 – Seznam personálu

1. Úvod

V dnešní době patří laser mezi běžně používané přístroje v mnoha odvětvích, medicínu nevyjímaje. Prudký rozvoj laserových zařízení ve všech oborech je způsoben mimořádnými vlastnostmi a kvalitou vyzařovaného světla z laseru. Díky tomu má laser zcela výjimečné postavení mezi světelnými zdroji. Laser je kvantový generátor energie elektromagnetického vlnění, pracující na principu zesilování světla stimulovanou emisí.

Lasery používané v medicíně, jakožto zdravotnická technika (zdravotnické přístroje) podléhají legislativním předpisům – zákonu 123/2000 Sb., který definuje mj. provádění bezpečnostně technických kontrol, nařízení vlády č. 336/2004 Sb. o technických požadavcích na zdravotnické prostředky, a zákonu 258/2000 Sb. o ochraně zdraví při práci. Pro zajištění správného provozu laserového zařízení v klinickém provozu je nutné dbát na všechny výše uvedené předpisy.

U každé osoby, která je v kontaktu s laserem, může nastat potenciální ohrožení zdraví, především zraku a pokožky. Pro zajištění bezpečnosti zaměstnanců při práci je nutné dodržovat všechna bezpečnostní opatření. Je nezbytné užívat vhodné ochranné pomůcky a používat laser v místnosti, která splňuje všechny příslušné požadavky. Osoby pracující s laserem musí v pravidelných intervalech podstupovat vyšetření očního pozadí.

Cílem této bakalářské práce je vytvoření uceleného návodu pro zdravotnická zařízení, jak postupovat při zařazování laserového zařízení do klinického provozu. Součástí jsou přehledné seznamy úkolů a vývojové diagramy postupů. Dalším cílem této práce je databázová aplikace umožňující sledování termínů vyšetřování očního pozadí u jednotlivých zaměstnanců, a tím se snižuje míra rizika ohrožení. Je nezbytné dbát na prevenci a včasnost lékařských prohlídek.

2. Motivace

Motivací k řešení této bakalářské práce je rychlý rozvoj laserů a jejich široká aplikace ve zdravotnictví na straně jedné a opomíjení bezpečnostních prvků na straně druhé. Na základě osobních průzkumů zdravotnických zařízení bylo autorem zjištěno, že především menší zdravotnická zařízení např.: okresní nemocnice a polikliniky nemají vytvořeny směrnice pro používání laserových zařízení. U velkých zdravotnických zařízení, jako jsou krajské nemocnice a nemocnice s akreditací nebyla shledána absence obecné směrnice pro použití laserových zařízení.

3. Laser

Laser je zkratkou anglických slov Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (zesílení světla stimulovanou emisí záření). Jde tedy o optický kvantový generátor elektromagnetického záření. První funkční rubínový laser s vlnovou délkou 694,3 nm předvedl Theodore Harold Maiman v květnu 1960 [1]. Záření (světlo), vycházející z laseru je typické monochromaticností, koherencí, vysokou směrovostí a malou divergencí, což lze s výhodou využít v různých odvětvích, v medicíně nevyjímaje. Důležité pojmy vztahující se k laserům jsou popsány v následující podkapitole. Další části textu se zabývají principem funkce a jednotlivými částmi laseru.

3.1 Odborné výrazy

V této části jsou popisovány nejčastěji se vyskytující termíny a vlastnosti úzce spojené s laserovými zařízeními, detailnější popis je uveden v [2], [3].

- *Koherence vlnění* přesněji znamená vlnění o stejné frekvenci, se stejným směrem kmitání a stejnou fází.
- *Monochromatické záření* je elektromagnetické záření, kde zdroj kmitá pouze na jediné frekvenci.
- *Směrovost* je schopnost vyzařovat elektromagnetické vlny v požadovaném směru.
- *Divergence laserového paprsku* je míra rozšiřování vysílaného velmi úzkého svazku laserových paprsků s rostoucí vzdáleností laseru od odrazného objektu.
- *Zářivý tok Φ_e* je energie elektromagnetické záření E , kterou zdroj vyzáří za časovou jednotku t . Základní jednotkou je watt.

$$\Phi_e = \frac{dE}{dt} \quad (3.1)$$

- *Výkon laseru* je zářivý tok v laserovém svazku, dopadající do určité oblasti. Jednotkou je watt.

- *Foton* je elementární částice popisující kvantum elektromagnetického pole. Má nulovou klidovou hmotnost a pohybuje se rychlostí světla ve vakuu c . Energii fotonu, vyjadřuje vztah uvedený níže.

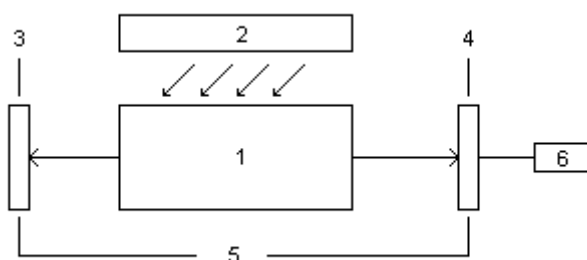
$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (3.2)$$

kde Planckova konstanta h je $6,626\,075 \cdot 10^{-34}$ J.s. λ je vlnová délka příslušného elektromagnetického vlnění ve vakuu. Vlnová délka společně s energií jsou nejdůležitějšími parametry laserového záření.

3.2 Princip funkce laseru

Viz obr. 1, zdroj energie (výbojka), ozáří látku aktivního prostředí (AP), a tím jsou atomy látky náhodně vybuzeny do vyššího energetického stavu, ze kterého se stejně náhodně vracejí do základního stavu. Atom látky AP vyzáří foton, který vyvolá stimulovanou emisi u dalšího atomu AP. Tento jev, nazývaný kvantový přechod, je popsán v následující podkapitole.

Fotony přibývají a hromadí se uvnitř AP a je třeba je zde udržet co nejdelší dobu, aby došlo k nahromadění co největšího množství energie. K tomu slouží optický rezonátor se dvěma zrcadly, jedním zcela odrazným a druhým polopropustným. Výsledný (dostatečně silný) světelný paprsek po dosažení prahové hodnoty opouští tělo laseru skrze částečně propustné (polopropustné) zrcadlo. Konstrukce laseru je znázorňována na obr. 1.



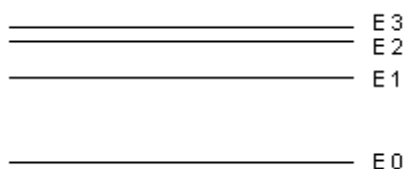
1. Aktivní prostředí
2. Zdroj záření
3. Odrazné zrcadlo
4. Polopropustné zrcadlo
5. Optický rezonátor
6. Laserový paprsek

Obr. 1 Konstrukce laseru

3.3 Kvantové děje

Kvantová soustava je složena z několika vázaných částic, kde existuje více vnitřních stacionárních stavů, jimž přísluší různé hodnoty energie neboli energetické hladiny. Stav, jemuž odpovídá nejmenší hodnota energie E_0 , je označován jako základní. Ostatní stavy jsou označovány jako vzbuzené nebo excitované, z nichž hladina E_3 je nejvyšší energetická hladina. Rozložení energetických hladin je znázorněno na obr. 2. Excitační energie je rozdíl mezi energií základního stavu a excitovaného stavu.

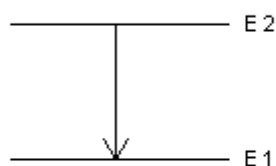
$$\Delta E_i = E_i - E_0 \quad (3.3)$$



Obr. 2 Energetické hladiny kvantové soustavy

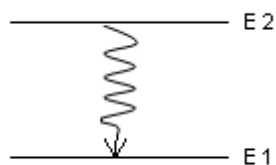
Jelikož kvantová soustava není dokonale izolovaná, dochází k ovlivňování vnitřních struktur soustavy okolním prostředím. Faktory vnějšího prostředí jsou např. sousední atomy, molekuly, gravitační pole, elektromagnetické pole apod. Změnu jednoho stacionárního stavu v jiný označujeme kvantovým přechodem. Kvantové přechody máme dvojího druhu *zářivé a nezářivé* [2], [5].

- U **zářivých přechodů** se vnitřní energie kvantové soustavy přeměňuje v energii elektromagnetického záření. O zářivý přechod jde při emisi fotonu. Emise fotonů známe spontánní a stimulované. Záření emitované při zářivých přechodech má stejnou nebo větší vlnovou délku, než to, které bylo absorbováno.



Obr. 3 Kvantový přechod zářivý

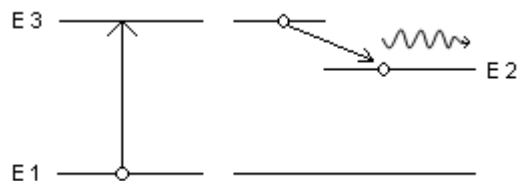
- Pokud se vnitřní energie kvantových soustav přeměňuje na jinou formu energie, než je elektromagnetické záření, jedná se o **nezářivé přechody**. Při nezářivých přechodech vznikají fonony.



Obr. 4 Kvantový přechod nezářivý

Buzením kvantových soustav se rozumí proces vytváření a udržování termodynamicky nerovnovážného stavu v látce, který se uskutečňuje zvyšováním množství vyšších energetických hladin kvantových soustav. Dochází ke kvantovým přechodům z dolní na horní energetickou hladinu. Buzení je nezbytné v kvantovém zesilovači (v laserovém aktivním prostředí). Opačný proces k buzení je relaxace kvantových soustav. Je to proces znovuuštění termodynamické rovnováhy.

Látce je dodávána energie ve formě elektromagnetického záření o určité vlnové délce např. světlo výbojky, tento proces nazýváme pumpování nebo čerpání a je znázorněn na obr. 5. Atomy aktivního prostředí pohltnou toto stimulující záření a přejdou z nižší energetické hladiny E_1 na nejvyšší energetickou hladinu např. E_3 , zde jsou nestabilní a odtud pak přecházejí nezářivým přechodem na metastabilní hladinu E_2 . Vyzáří se foton frekvence, který odpovídá energetickému rozdílu těchto hladin, a tomu pak odpovídá výsledné světlo, jakou má světlo vyzařované z laseru. Tento foton bude stimulovat vybuzené atomy k přechodům na nižší energetickou hladinu a bude tedy docházet k stimulované emisi záření. Do aktivního prostředí vnikl jeden stimulující foton a vystupuje z něho více stejných fotonů. Metastabilní hladina je excitovaná energetická hladina, kde může atom setrvávat relativně dlouho (10^{-8} s a déle). Dojde-li k nahromadění atomu na takové hladině, můžeme pozorovat jev zvaný luminiscence [5].



Obr. 5 Přechody mezi hladinami

3.4 Aktivní prostředí

Aktivní prostředí slouží k zesilování elektromagnetického záření, které se šíří ve směru optické osy. Tvar aktivního prostředí nejčastěji bývá válec nebo kvádr. Využívá se mnoho látek všech skupenství. Plyn, monokrystal, polovodič, organická barviva, polovodičové multivrstvy a volné elektrony [5], [6].

Do skupiny laserů, které využívají **pevné látky**, jako aktivní prostředí, patří nejstarší a nejznámější rubínový laser, kde je aktivní prostředí tvořeno krystalem korundu (Al_2O_3) s příměsí chromu. Laser vyzařuje červené světlo a pohlcuje energii světla výbojky. Další pevnolátkový laser je Nd:YAG laser. Aktivní prostředí je vyrobeno z neodymového skla a krystalu yttrito-hlinitého granátu ($\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}$), díky atomům neodymu je dosahováno vysokých laserových energií a celkově vysoké účinnosti. Vyzařované světlo je v infračerveném spektru.

Tab. 1 Pevnolátkové lasery

Typ laseru	Aktivní prostředí	Vlnová délka	Spektrální oblast	Použití
Nd:YAG laser	Neodym, YAG	1064 nm	IR	Chirurgie, litografie
Er:YAG laser	Erbium, YAG	2,94 μm	IR	Chirurgie, stomatologie

Mezi lasery využívajícími kapalné látky jako aktivní prostředí, jsou významnou skupinou **barvivové lasery**, které využívají roztoků různých organických látek, zejména rhodaminu a kumarinu. Předností těchto laserů je možnost plynulé změny spektra záření. Lasery vyzařují zelené, žluté, oranžové nebo červené světlo. Nevýhodou je krátká životnost způsobená rozkladem aktivního prostředí.

Tab. 2 Barvivové lasery

Typ laseru	Aktivní prostředí	Vlnová délka	Spektrální oblast	Použití
Rhodanin 6G laser	Rhodamin 6G	570 – 650 nm	Zelená, žlutá, oranžová, červená	Dermatologie
Kumarin C30 laser	Kumarin C30	504 nm	zelená	Oftalmologie, chirurgie

Lasery využívající **plynné látky** jako aktivní prostředí, kde nejrozšířenějším z této skupiny je laser helium-neonový, který generuje červené nebo infračervené světlo. Helium-neonový laser tvoří dlouhá skleněná trubice naplněná směsí neonu a hélia, v níž se budí elektrický výboj pomocí vysokofrekvenčních prstencových budících elektrod. Konce trubice bývají uzavřeny okénky. Celá trubice je umístěná mezi kulovými zrcadly vnějšího rezonátoru. Další z této skupiny je laser argonový, vyzařující modré nebo zelené světlo. Specifika tohoto laseru jsou vysoká hustota elektrického proudu protékajícího výbojem a vysoká teplota. Nejstarší plynový a zároveň nejsilnější kontinuální je CO₂ laser, který generuje infračervené záření. Plynové lasery mají homogenní prostředí, díky kterému dosahují vynikajících parametrů, avšak malého výkonu.

Tab. 3 Plynové lasery – atomární

Typ laseru	Aktivní prostředí	Vlnová délka	Spektrální oblast	Použití
He-Ne laser	helium, neon	543 nm, 633 nm	Zelená, červená	Zaměřování, spektroskopie

Tab. 4 Plynové lasery – iontové

Typ laseru	Aktivní prostředí	Vlnová délka	Spektrální oblast	Použití
Argonový laser	argon	488 nm, 514 nm	Modrá, zelená	Oftalmologie, spektroskopie
Hélium-kadmiový laser	Helium, kadmium	325 nm, 442 nm	UV, modrá	Spektroskopie

Tab. 5 Plynové lasery – molekulární

Typ laseru	Aktivní prostředí	Vlnová délka	Spektrální oblast	Použití
CO ₂ laser	Oxid uhličitý	10,6 μm	IR	Stomatologie, sváření, řezání
Excimerové lasery	ArF, KrCl, KrF, XeCl, XeF	193 – 351 nm	UV	Oftalmologie, laserová ablace

Posledním typem jsou **polovodičové lasery**, využívající vlastností PN přechodu. Aktivním prostředím je dioda například z arsenidu gallitého (GaAs). Laser vyzařuje červené nebo infračervené světlo v závislosti na provozní teplotě.

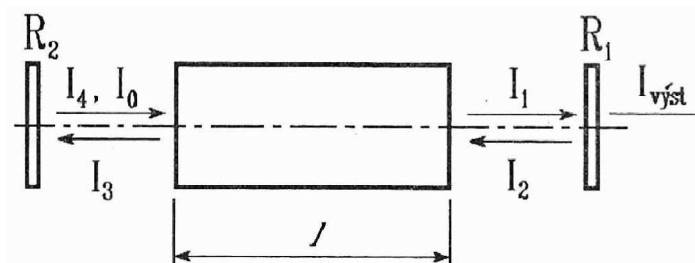
Tab. 6 Polovodičové lasery

Typ laseru	Aktivní prostředí	Vlnová délka	Spektrální oblast	Použití
GaAs laser	GaAs	650 nm, 840 nm	Červená, IR	Laserová ukazovátka
InGaAIP laser	InGaAIP	630 – 685 nm	červená	Lékařství

3.5 Optický rezonátor

Optický rezonátor je schopen soustředit po jistou dobu energii určité frekvence, která slouží ke generaci laserových impulsů, určuje frekvenci a prostorové rozložení výstupního svazku elektromagnetického záření. Rezonátor je tvořen dvěma zrcadly, která mají tyto parametry: poloměry křivosti, koeficienty reflexe, apertury a vzdálenost zrcadel od sebe. Jedno je částečně propustné, označované jako výstupní zrcadlo a druhé vysoce odrazné. Parametry rezonátoru určují rozložení elektromagnetického pole na zrcadlech a v prostoru mezi nimi. Nejčastější typy otevřených rezonátorů: *planparalelní, koncentrický, konfokální, sférický*.

Fotony vznikající stimulovanou emisí se v optickém rezonátoru pohybují odrazy od zrcadel z jedné strany na druhou. Při tomto přemísťování stimulují další vybuzené atomy a intenzita elektromagnetického záření uvnitř rezonátoru narůstá. Po dosažení určité míry energie projde světelný impuls skrze polopropustné zrcadlo jako laserový paprsek. Podrobnější informace a příslušné rovnice popisující princip funkce optického rezonátoru jsou uvedeny v literatuře [5].



Obr. 6 Zesilující prostředí v rezonátoru [5]

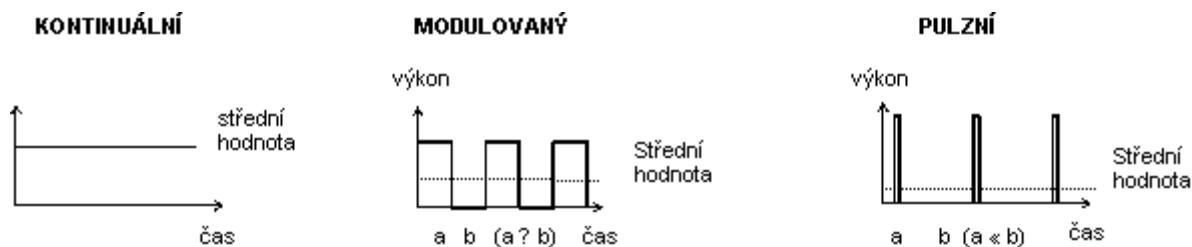
3.6 Dělení laserů

Všechny lasery pracují na stejném principu stimulované emise, ale liší se velmi výrazně svou konstrukcí a vlastnostmi. Dělení lze provádět podle různých kritérií například:

- skupenství aktivního prostředí (pevné, kapalné, plynné, polovodič), viz kap. 3.4.
- excitace AP, způsob čerpání energie (optickým zářením, elektrickým polem, chemickou reakcí, elektronovým svazkem, jadernou energií)
- vlnová délka (infračervené lasery, lasery v oblasti viditelného světla, ultrafialové lasery, rentgenové lasery)
- počet energetických hladin (dvou, tří a vícehladinové)
- režim práce, generace neboli délky generovaného impulsu (pulzní, modulovaný, kontinuální) [8]

Režimy generace známe tři druhy: *kontinuální*, *modulovaný* a *pulzní*. Všechny tři režimy jsou znázorněny na obr. 7.

- Režim kontinuální je spojitý režim, kdy laser vyzařuje nepřetržitě po dobu rovnou nebo delší než 0,25 s. Lasery s tímto režimem práce jsou využívány jako ukazovátka či jako záměrné kříže.
- Při pulzním režimu je energie vyzařována ve formě impulsů nebo sledu impulsů kratších než 0,25 s opakovací frekvencí rovnou 1 s. Lasery s pulzním režimem práce jsou využívány při ablacích a disrupcích.



Obr. 7 Režimy práce laseru

4. Účinky laserového záření na tkáň

Laser, jakožto kvantový generátor elektromagnetického vlnění, produkuje záření o vysoké energii. Takové záření při styku s živou tkání způsobuje vratné či nevratné změny struktury tkáně. Při interakci laserového paprsku s tkání dochází k fyzikálním účinkům, které lze dělit na primární a sekundární. V následujících podkapitolách jsou popsány možné fyzikální jevy a faktory, které je způsobují.

4.1 Primární účinky

Při vzniku primárních účinků interakce laserového záření s tkání jsou primárními faktory: parametry laserové záření, parametry biologické tkáně a typ záření. Mezi parametry laserového záření spadá: *vlnová délka záření*, *délka pulsu (doba expozice)*, *hustota energie dopadající na tkáň a opakovací frekvence*.

- Od *vlnové délky* záření se odvíjí hloubka tepelného účinku. Dlouhovlnné infračervené záření o vlnových délkách 1000 až 10000 nm působící na tkáň je absorbováno vodou a nedochází k průniku pod povrch. Kdežto krátkovlnné ultrafialové záření o vlnových délkách 100 až 390 nm může pronikat až do hloubky 5 mm a působit na cévy v podkoží [7].
- *Délka pulsu* (doba expozice) je rozdělena do tří režimů: **kontinuální režim**, **kvazi-kontinuální**, který je dále rozdělen na dlouhé a krátké impulsy, poslední režim se nazývá **pulzní**, který je rozčleněn na dlouhé, krátké a velmi krátké impulsy.
- *Hustota energie* dopadající na tkáň by měla dosahovat hodnot 1 J/cm^2 - 1000 J/cm^2 , aby nastávaly medicínské efekty. Typy biologických tkání jsou v tomto případě děleny na tvrdé a měkké. Tvrdé zahrnují sklovinu, kostní tkáň a kalcifikovanou tkáň cév. Mezi měkké tkáně patří svalstvo a nervy.

Při interakci laserového záření s látkou dochází k těmto primárním fyzikálním jevům: *absorpce*, *reflexe*, *refrakce*, *transmitance* [6].

- *Absorpce* znamená pohlcení energie, přesněji je energie fotonu pohlcena látkou, atomem, jehož valenční elektrony přecházejí mezi dvěma úrovněmi energie. Absorpce je způsobována vodními molekulami, proteiny a pigmenty. Závisí na elektronickém uspořádání atomů a molekul, na vlnové délce, tloušťce

absorbujícího média a vnitřních parametrech, kterými jsou teplota a koncentrace absorbujících elementů. Lambertův a Beerův zákon vysvětlují závislost tloušťky nebo koncentrace na absorpci.

$$I(z) = I_0^{(-\alpha z)} \quad (4.1)$$

$$I(z) = I_0^{(-k'cz)} \quad (4.2)$$

$I(z)$ je intenzita ve vzdálenosti z , I_0 je dopadající intenzita, α znamená absorpční koeficient média, z jsou souřadnice délky (optická osa), k' závisí na vnitřních parametrech jiných než je koncentrace, c je koncentrace absorbujících součástí.

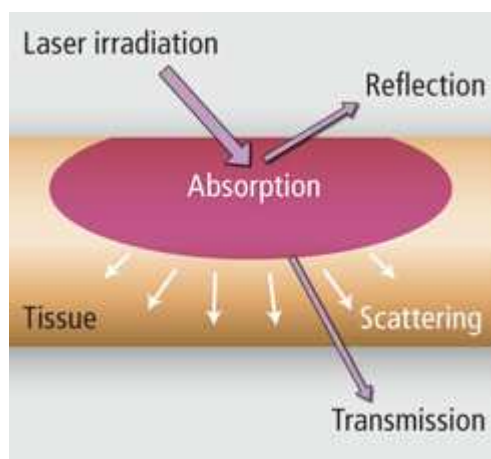
Oba zmíněné zákony popisují totéž chování absorpce, bývají obvykle spojovány do Lambert-Beerova zákona, který vyjadřuje závislost absorpce světla při průchodu tloušťkou d homogenní látky, e je Eulerovo číslo a β znamená součinitel absorpce (závisí na materiálu a vlnové délce světla).

$$I = I_0 e^{-\beta d} \quad (4.3)$$

- *Reflexe* je odraz vlnění, závisí na typu materiálu a dopadající vlnové délce záření, která je velice důležitým parametrem určující index lomu, absorpční a rozptylové koeficienty. Celkový činitel odrazu je určován indexem lomu.
- *Refrakce* je lom vlnění.
- *Rozptyl* znamená, že vlnění je odchylováno z přímé dráhy vlivem drobných poruch prostředí. Tento fyzikální jev nastává, když dopadající elektromagnetické pole má frekvence, které neodpovídají přirozeným frekvencím částic. *Mie*, *Rayleigh* a *Raman* jsou druhy rozptylů vyskytující se při interakci záření s neabsorbujícím prostředím.
 - *Mie*: rozptýlené světlo je vyzařováno do všech směrů kolem rozptylujícího centra.
 - *Rayleigh*: jedná se o elastický rozptyl, podmíněný polarizací světla. Rozptylující částice jsou menší než vlnová délka dopadajícího záření. U těchto dvou druhů rozptylů má záření stejnou vlnovou délku jako dopadající světlo.

- *Raman*: u tohoto typu nastává neelastický rozptyl světla, což způsobuje rozdílné frekvence dopadajícího a rozptýleného záření.
- *Transmittance* je propustnost záření látkou [6].

Obr. 8 názorně vyobrazuje primární účinky laserového záření na tkáň.

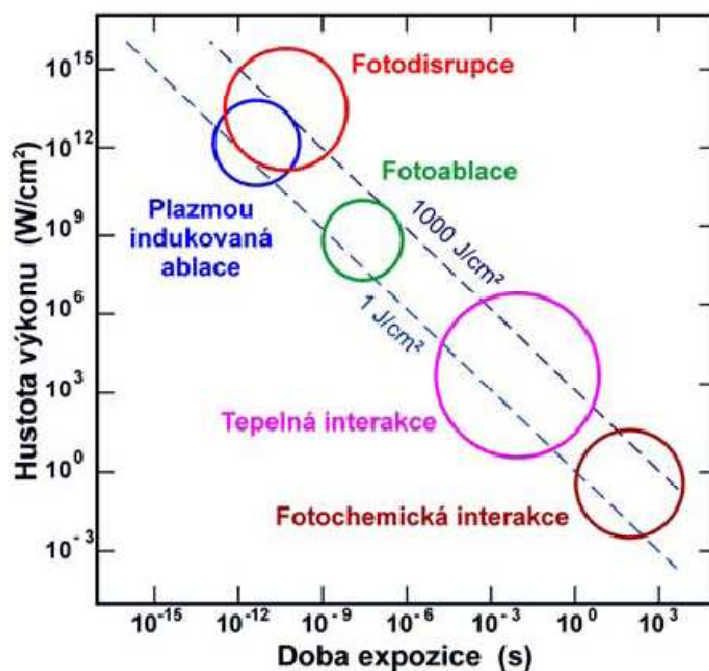


Obr 8. Fyzikální jevy nastávající při interakci laserového záření s tkání [9]

4.2 Sekundární účinky

Laserová medicína již od svého počátku věnuje velké úsilí studiu interakčních účinků, které vznikají při interakci laserového záření s tkání. V předešlé kapitole je zmíněno, jak je výsledek interakce s tkání ovlivněn primárními podmínkami a efekty. Pro úplnost interakce je nutné připojit k primárním faktorům i sekundární faktory. Sekundární účinky lze rozdělit do pěti základních skupin podle výsledku interakce daného závislostí hustoty výkonu působícího záření na interakčním čase. *Fotochemická interakce, teplotní interakce, fotoablace, plasmou indukovaná ablace, fotodisrupce* [6].

Pro přesné popsání situace je určen obr. 9., kde dvojité logaritmické závislosti hustoty výkonu na interakčním čase ukazují pět výše zmíněných interakčních typů. Hustota výkonu a doba expozice laserového záření se mění v téměř stejném rozmezí. Interakční mechanismy existují v rozmezí hustot energií mezi 1 J/cm^2 – 1000 J/cm^2 . Časová škála je rozdělena do pěti oblastí, podle délky trvání expozičního času.



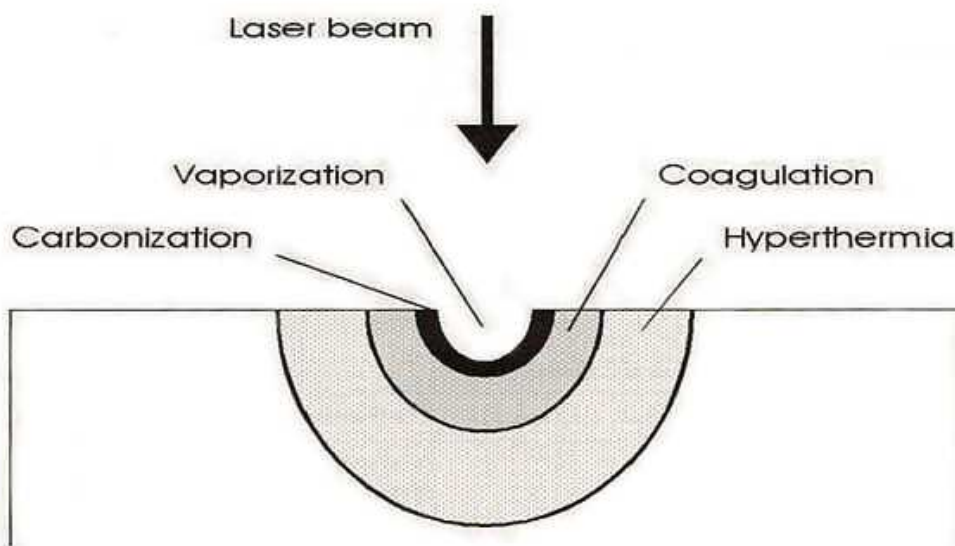
Obr. 9 Graf závislosti hustoty výkonu na době expozice [6]

Fotochemické interakce jsou způsobovány absorpcí světla. Dojde k chemickým efektům a reakcím uvnitř makromolekul nebo tkání. K fotochemickým interakcím dochází při velmi nízkých hodnotách hustot výkonu $0,1 - 50 \text{ W/cm}^2$ a při dlouhých interakčních časech 1 s – kontinuální záření. Významnou úlohu mají ve fotodynamické diagnostice a terapii nebo v biostimulačních efektech.

Tepelná interakce představuje více typů interakcí, při nichž je významným parametrem teplota. V závislosti na době působení laserového záření a na maximální hodnotě teploty tkáně mohou nastávat tyto efekty: *koagulace*, *vypařování*, *karbonizace* a *roztavení*. Hodnota hustot výkonu typická pro tepelné interakce je 10^6 W/cm^2 . Interakční čas se pohybuje v rozmezí $1 \mu\text{s} - 1 \text{ min}$.

- Při *koagulaci* teplota dosahuje minimálně $60 \text{ }^\circ\text{C}$. Koagulovaná tkáň se stává tmavší a je nekrotická.
- Příkladem *vypařování* je např. vrtání zubní tkáně pomocí Er:YAG laseru. Voda silně absorbuje záření Er:YAG laseru, dochází ke spouštění efektu vypařování uvnitř vrstev. Voda je přeměněna na páru. Nárůst tlaku vede k lokalizovaným mikroexplozím. Výsledkem je eroze buněk tkáně v těsné blízkosti vodní molekuly.

- *Karbonizace* vzniká tehdy, když teplota ozářené tkáně přesáhne 150 °C. Je uvolněn uhlík a tkáň ztmavne.
- Tkáň, která je natolik rozehřátá, že dojde k jejímu *roztavení* a následnému zchladnutí, získá podobu ztuhlé lávy.



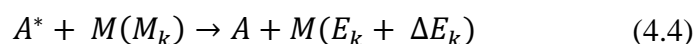
Obr. 10 Účinky tepelné interakce na tkáň [6]

Při teplotních efektech dochází k dvěma procesům *absorpce a deaktivace*.

- Nejprve *absorpce* fotonu s energií $E = h\nu$ způsobí přechod molekuly do excitovaného stavu A^* . Absorpce je dána značně velkým počtem dostupných vibračních stavů biomolekul.

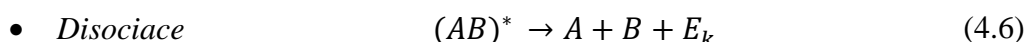
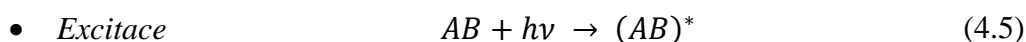


- Při druhém procesu dochází k srážkám molekuly A^* s okolními molekulami M , které vedou k *deaktivaci* A^* a společnému nárůstu kinetické energie M . Energie fotonu laserového záření převyšuje kinetickou energii molekul.



Kinetická energie molekul při pokojové teplotě je přibližně 0,025 eV. Energie fotonů laserové záření je v rozmezí 0,35 – 6,4 eV.

Při **fotoablaci** dochází k odpařování tkáně. Podstatou fotoablace je přímé rozbití molekulárních vazeb energií fotonů. Hodnoty hustot výkonu jsou $10^7 - 10^9 \text{ W/cm}^2$ a délka impulsu $10 - 100 \text{ ns}$. Důležitým parametrem je ablační hloubka, což znamená hloubka tkáně odebraná na jeden puls, určujícím prvkem je pulzní energie. Mezi hlavní přednosti ablační techniky patří přesnost, dobrá předvídatelnost a velmi malé teplotní změny okolní tkáně. Fotoablace je dvoustupňový proces, skládá se z *excitace a disociace*.



Plasmou indukovaná ablace slouží pro velice dobře definované odebrání tkáně bez vedlejších poškození. Podstatou tohoto efektu je ablace vytvořením ionizující plasmy. Typické hustoty výkonu jsou $10^{11} - 10^{13} \text{ W/cm}^2$ a interakční časy $100 \text{ fs} - 500 \text{ ps}$. Nejdůležitějším parametrem při této interakci je místní elektrické pole E , které určuje, kdy daný optický výboj vznikne. Vzniká tehdy, když elektrické pole způsobí ionizaci molekul a atomů. Plasmou indukovaná ablace je používána u chirurgie rohovky.

Během **fotodisrupce** je tkáň rozštěpena mechanickým efektem. Laser vytváří miniaturní bleskový výboj provázený odpařením vody, která v podobě páry rychle expanduje, a tím oddělí tkáň od sebe. Vzniká mechanický a akustický výboj. Hodnoty hustoty výkonu jsou $10^{11} - 10^{16} \text{ W/cm}^2$ a pulzní délky jsou $100 \text{ fs} - 100 \text{ ns}$. Fotodisrupce je efekt startující z optického průboje a má několik primárních mechanismů: vytvoření plazmatu, generace rázových vln, kavitace a tryskový jev. Fotodisrupce je například využívána při fragmentaci čočky nebo při litotripsii [6].

5. Využití laserů v medicíně

Rozsah využití laserů v medicíně je velice široký, lasery stále nacházejí nová uplatnění v diagnostice, terapii a i dalších aplikacích jako je např. zaměřovací systém u radioterapeutických přístrojů apod. Nejdůležitější fyzikální veličinou, která je úzce spojena s funkcí laserů a hlavně s jeho využitím v medicíně, je vlnová délka. Právě vlnová délka přesně určuje, na jaké tkáň bude konkrétní laserové záření nejúčinnější. V lékařství jsou používány lasery s kontinuálním i pulzním režimem práce v závislosti na prováděném zákroku. Další předností je koncentrace záření na malé ploše. Energie je pohlcována tkání a přeměňována na teplo, to má význam především v chirurgii. Laserové operace jsou bezdotykové a jejich výsledkem je ostře ohraničený řez tkání bez poškození okolí. Během řezu dochází ve tkáních ke koagulaci, rána díky tomu méně krvácí. Většina laserových zákroků je prováděna ambulantně a není nutná hospitalizace v lékařském zařízení. Laserová zařízení jsou využívána např. v těchto medicínských oborech *oftalmologie, dermatologie, chirurgie, stomatologie, gynekologie, angioplastika, onkologie, traumatologie, neurochirurgie*.

5.1 Oftalmologie

V očním lékařství je využíván laser při složitých a citlivých operacích jakými jsou přichycení oční sítnice, odstranění zeleného a šedého zákalu, léčení diabetické retinopatie atd. K léčbě šedého zákalu je využíván vysokovýkonný Nd:YAG pulzní laser, kde vlnová délka je 1064 nm. Nejčastějšími aplikacemi laseru v oftalmologii jsou operace očních vad (krátkozrakost, dalekozrakost). K tomuto zákroku je využíván excimerový laser. Jedná se o plynový pulzní laser, kde aktivní prostředí je tvořeno kombinací halogenů a vzácných plynů. Vyzařované elektromagnetické vlnění je v ultrafialové spektrální oblasti a vlnová délka je v rozsahu 193 – 351 nm [6].



Obr. 11. Excimerový laser pro oftalmologii [11]

5.2 Dermatologie

Dermatologie patří mezi obory, kde byl laser používán brzy po svém objevu. V oblasti kožního lékařství jsou účinky laserového záření hojně využívány i v dnešní době. Slouží k léčbě akné, odstraňování pigmentových skvrn, vrásek či chloupků, dále je využíván k odstraňování křečových žil nebo jizev po chirurgických zákrocích. Lasery využívané v dermatologii jsou barvivové, pracující ve viditelném spektru o vlnové délce 504 – 650 nm. CO₂ lasery pracující v infračerveném spektru o vlnové délce 10,6 μ m jsou nejčastěji používány pro odstraňování vrásek, pigmentových skvrn a jizev. Režimy práce těchto laserů, pulzní nebo kontinuální, jsou nastavovány dle daného zákroku [6].

5.3 Chirurgie

V chirurgii je laserové záření využíváno místo klasického skalpelu. Kumulace velkého množství energie na malé ploše a vysoká absorpce záření ve tkáni jsou velkými přednostmi a umožňují operátorům pracovat s mimořádnou přesností. Nejčastěji se pracuje s lasery, u kterých je aktivní prostředí tvořeno pevnou látkou nebo polovodiči. Nd:YAG lasery patří mezi pevnolátkové lasery a jejich záření se vyskytuje v infračervené oblasti elektromagnetického spektra a vlnová délka je 1064 nm. Největší účinek má Er:YAG laser, který má vlnovou délku 2940 nm. Záření erbiového laseru je nejvíce absorbováno v tkáních, kde je přítomna voda. Režim práce bývá většinou kontinuální nebo kvazi-kontinuální. Dalším typem laseru, který je používán v chirurgii, je diodový laser. Díky vlnové délce 980 nm, a vysokému výkonu 30 W má široké

uplatnění. Jako skalpelu lze využít laserového záření kromě klasické chirurgie i k operacím v urologii, gynekologii, neurologii a otorinolaryngologii [6], [12].



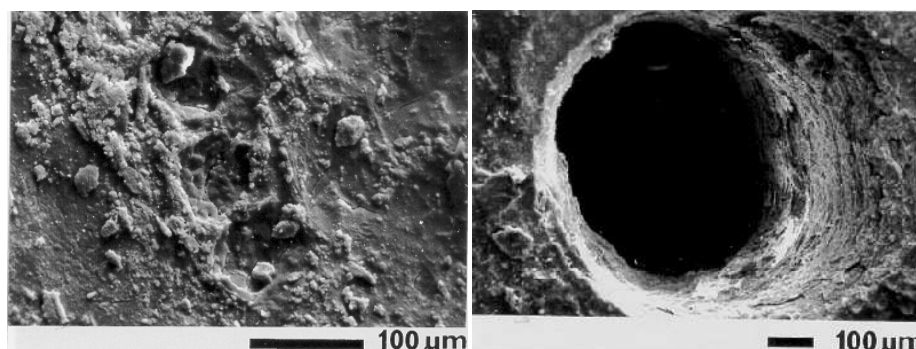
Obr. 12 Vysokovýkonný erbiový laser FIDELIS Er:YAG Fotona [12]

5.4 Stomatologie

Laser ve stomatologii pomalu začíná nahrazovat vrtačky, kyrety, skalpely či ultrazvuky používané k odstranění zubního kamene. Ošetření laserem představuje moderní a zároveň velmi šetrnou a bezbolestnou péči. V zubním lékařství je nejčastěji využíván laser diodový a erbiový Er:YAG. Záření vycházející z diodového laseru má vlnovou délku 980 nm a je nejlépe vstřebáváno tkáněmi obsahujícími hemoglobin. Proto se používá k ošetření dásně, sliznice a kůže. Vysoko-výkonový Er:YAG laser s vlnovou délkou 2940 nm slouží jako laserová vrtačka. Při použití laseru s vlnovou délkou překračující 2100 nm dochází k ablaci skloviny. Erbiovým laser jsou odstraňovány zubní kazy, zubní kámen a čištěny kořenové kanálky. Zákroky bývají bezbolestné a ambulantně prováděné. Dříve byl používán neodymový Nd:YAG laser, pro nedostatečnou účinnost je nahrazován laserem erbiovým. Při zákroku s laserovým zařízením je nutné dbát na bezpečnost pacienta a poskytnout mu veškeré ochranné pomůcky např. brýle. Viz obr. 13 [6], [13].



Obr. 13 Použití vhodných ochranných brýlí [14]



Obr 14. Fotografie výsledku interakce laserového záření Nd:YAG (a) a Er:YAG (b) laserů se zubní tkání. [6]

5.5 Lasery určené k biostimulaci

Doposud bylo zmiňováno pouze použití vysokovýkonných laserů. V medicíně jsou využívány i lasery s malým výkonem tzv. měkké lasery. Ty slouží k biostimulačním účinkům např. hojení měkkých tkání ve stomatologii, traumatologii, dermatologii a dalších oborech. K těmto účelům jsou využívány hlavně diodové lasery vyzařující infračervené záření o vlnové délce 1450 nm. Při interakci záření z diodového laseru s tkání dochází k termickým změnám. Dále He-Ne lasery s vlnovými délkami 543 – 633 nm, jež patří do viditelné spektrální oblasti [6], [16].

6. Legislativní předpisy

Pokud je laserové zařízení ve zdravotnictví a je používáno k léčbě, jedná se o zdravotnický prostředek (ZP), který podléhá předpisům hygieny práce, ale i legislativním předpisům vztahujícím se ke zdravotnickým prostředkům. Laserové zařízení, jakožto ZP musí být nejprve správně zařazeno do třídy laseru, viz kapitola 7, a poté do třídy rizik ZP, viz další části textu této kapitoly. Vzhledem k třídám laseru a třídám rizik jsou rozdílná bezpečnostní opatření. Pro bezpečný provoz laserového zařízení je nutné zohlednit všechny níže uvedené zákony, nařízení vlády a vyhlášky.

6.1 Zákon 123/2000 Sb.

Zákon 123/2000 Sb. ze dne 15. dubna 2000 o zdravotnických prostředcích. Účelem tohoto zákona je zajistit poskytování zdravotní péče vhodnými, bezpečnými a účinnými zdravotnickými prostředky tak, aby při jejich správném použití k účelům, pro něž jsou určeny, nedošlo k poškození zdraví lidí. Tento zákon také upravuje podmínky pro používání, instruktáž, údržbu, servis a evidenci ZP.

Oddíl, který by neměl být opomíjen žádným poskytovatelem zdravotní péče, je § 20: zajištění správné instalace, používání a údržby ZP dle provozních předpisů a předpisů upravujících bezpečnost a ochranu zdraví při práci. ZP musí být používány jen osobami, které disponují odpovídajícím vzděláním, znalostmi a praktickými zkušenostmi. Vždy musí dojít k řádnému poučení zaměstnanců i pacientů. ZP musí být vybaven návody k použití v českém jazyce, které musí být kdykoli dostupné na pracovišti.

U ZP se zvýšeným rizikem, mezi které patří laserové zařízení, je nutná instruktáž k obsluze, doložitelná podpisem proškolené osoby. Tento fakt je ustanovován § 22.

Velmi důležitou částí tohoto zákona je § 27, vztahující se k bezpečnostně technickým kontrolám ZP. Způsob, rozsah a intervaly provádění periodických kontrol ZP se odvíjí od druhu nebo třídy ZP. Poskytovatel je povinen zajistit kontrolu podle platných ustanovení způsobilou osobou nebo organizací.

Pro minimalizaci vzniku rizik je nutná údržba a servis ZP v souladu s pokyny výrobců těchto prostředků příslušnými zvláštními právními předpisy a předpisy pro provozování. § 28 přesně určuje, kdo může údržbu a servis ZP provádět [22].

6.2 Zákon 258/2000 Sb.

Zákon 258/2000 Sb. ze dne 14. července 2000 o ochraně veřejného zdraví. Tento zákon upravuje práva a povinnosti fyzických a právnických osob v oblasti ochrany a podpory veřejného zdraví. Dále popisuje soustavu orgánů ochrany veřejného zdraví, jejich působnost a pravomoc.

Neopomenutelnou částí tohoto zákona je díl 6, zabývající se ochranou před hlukem, vibracemi a neionizujícím zářením. Pro účely tohoto zákona je neionizující záření definováno jako elektromagnetické záření o frekvenci do $1,7 \cdot 10^{15}$ Hz. Tato hodnota je blízká frekvenci ultrafialového záření. Součástí § 35 jsou přesně stanovené povinnosti osob, jež používají, či provozují zařízení, které je zdrojem neionizujícího záření včetně laserů.

§ 36 ustanovuje povinnosti, které zajišťuje výrobce a dovozce laserů. Jedná se o zařazení laserů do stanovené třídy a označení předepsaným výstražným štítkem, viz obr. 16. Lasery třídy II a vyšší musí být opatřeny výstražným textem „LASEROVÉ ZÁŘENÍ“ a lasery třídy IIb a IV musí mít navíc předepsanou signalizaci dle platných norem. Nezbytná je technická dokumentace s údaji pro ochranu zdraví.

Díl 7 pojednává o ochraně zdraví při práci. Je jednou z nejdůležitějších částí tohoto zákona ve vztahu k laserovému zařízení ve zdravotnickém provozu. V § 37 s názvem Kategorizace prací se zařazuje práce do čtyř kategorií, podle míry výskytu faktorů, ovlivňující zdraví pracovníků, a jejich rizikovost pro zdraví. Práce s laserem patří mezi rizikové práce a spadá do druhé nebo třetí kategorie, v závislosti na třídě laseru. O zařazení prací do druhé kategorie rozhoduje zaměstnavatel a poté to oznámí příslušnému orgánu ochrany veřejného zdraví, hygienické stanici. Práce do třetí a čtvrté kategorie jsou zařazovány pouze příslušným orgánem ochrany veřejného zdraví. Zaměstnavatel je povinen u rizikových prací sledovat, zda nedochází k překračování limitních hodnot ukazatelů biologických expozičních testů.

Mezi další povinnosti zaměstnavatele patří i vedení evidence každého zaměstnance. Tento fakt je vysvětlován § 40. Součástí podrobné evidence je vedení záznamů o datech a druzích lékařských preventivních prohlídek a jejich závěrech. U osob pracujících s laserem se jedná např. o vyšetření očního pozadí [23].

6.3 Zákon 309/2006 Sb.

Zákon 309/2006 Sb. ze dne 23. května 2006 o zajištění dalších podmínek bezpečnosti a ochrany zdraví při práci. Stěžejní částí tohoto zákona, pro zde řešenou problematiku je § 2, který se zabývá požadavky na pracoviště a pracovní prostředí. Provozovatel je povinen zajistit, aby pracoviště byla konstrukčně uspořádána a vybavena tak aby pracovní podmínky pro zaměstnance odpovídaly bezpečnostním a hygienickým požadavkům, tzn., musí být zajištěno následující:

- veškeré prostory musí mít stanovené rozměry, povrch a výbavu
- vhodné osvětlení a klimatické podmínky
- prostory pro osobní hygienu
- únikové cesty, východy a dopravní komunikace
- musí být zajištěna pravidelná údržba, úklid a čištění prostor
- vybavení pro poskytnutí první pomoci a přivolání zdravotnické záchranné služby

Výše uvedené body ve vztahu k laserovému pracovišti jsou přesněji specifikovány v platných právních předpisech a normách, viz [25], [28].

Podle § 5 musí být zajištěny požadavky na organizaci práce a pracovní postupy. Zaměstnavatel je povinen organizovat práci a stanovit pracovní postupy, aby byly dodržovány zásady bezpečného chování na pracovišti a aby zaměstnanci nebyli ohroženi, byli chráněni, řádně proškoleni. Dle § 6 musí být pracoviště, na kterých může dojít poškození zdraví, vybavena bezpečnostními značkami a signalizací.

Další části zákona se zabývají předcházením ohrožení života a zdraví. Musí být kontrolována pracovní prostředí, kde se vyskytují rizikové faktory, dále pak musí být prováděna měření míry expozice laserového záření. V poslední části zákona je popisována odborná způsobilost k pracím. Zaměstnavatel musí zajistit dostatečné proškolení a dostatečný počet odborně způsobilých osob [24].

6.4 Nařízení vlády 1/2008 Sb.

Nařízení vlády číslo 1/2008 Sb. ze dne 12. prosince 2007 o ochraně zdraví před neionizujícím zářením. Jedná se o doplňující text k některým výše zmíněným zákonům a vyhláškám. Toto nařízení upravuje hodnocení rizik neionizujícího záření ve frekvenční oblasti od 0 do $1,7 \cdot 10^{15}$ Hz. Dále upravuje způsob zařazení laserů do tříd a jejich označení, způsob opatření výstražným textem nebo signalizací. Hustota zářivé

energie dopadající na lidský organismus nesmí překročit nejvyšší přípustné hodnoty. Zaměstnanci vykonávající práce, kde jsou vystaveni expozici neionizujícímu záření, musí být řádně poučeni o ochraně zdraví. Povinností zaměstnavatele je podat informace o bezpečných pracovních postupech, které vedou ke snižování rizik.

Čtvrtá část tohoto nařízení se zabývá ochranou zdraví zaměstnanců před nepříznivými účinky optického záření. Laserové záření je v tomto případě jakékoli záření, které může být upraveno k vytváření nebo zesilování elektromagnetického vlnění. Primárním procesem je stimulovaná emise. Nejvyšší přípustné hodnoty expozice záření laserem jsou uvedeny v přílohách k tomuto nařízení vlády.

Podstatnou částí je § 10 ustanovující, co vše má být v technické dokumentaci ke každému laserovému zařízení. Technická dokumentace musí obsahovat nezbytné údaje, které jsou přesně popsány v kapitole 6.5 Technická dokumentace.

V § 11a se nesmí opomenout několik důležitých bodů vztahujících se k ochraně zdraví při práci spojené s expozicí optickému záření. Pokud může docházet k překračování přípustných expozičních limitů, musí zaměstnavatel přijmout níže uvedená opatření. Bezpečnost a ochrana zdraví je vždy na prvním místě.

- návrh pracovního postupu, který sníží riziko z expozice optickému záření
- snížit emise optického záření technickými opatřeními
- zajistit vhodné programy údržby zařízení
- zajistit prostorové uspořádání pracoviště, tak aby byla snížena rizika plynoucí z expozice optickému záření
- zajistit vhodné osobní ochranné pracovní prostředky (ochranné brýle pro příslušnou vlnovou délku laserového záření, viz obr. 17)
- označit pracoviště patřičnými bezpečnostními značkami, viz příloha YY

[25]

6.5 Nařízení vlády 336/2004 Sb.

Nařízení vlády číslo 336/2004 Sb. ze dne 5. května 2004 stanovuje technické požadavky na zdravotnické prostředky. Zdravotnický prostředek musí nést označení CE. Dále tento zákon ustanovuje klasifikaci ZP podle míry rizika, kterou představuje jejich použití pro uživatele, případě pro jinou osobu, do tříd I, IIa, IIb, III. Část zákona vztahující se k této práci se nazývá Ochrana před zářením.

V tomto zákoně je záření rozděleno na žádoucí a nežádoucí záření. Pokud jsou ZP určeny k emitování záření v nebezpečných úrovních, avšak potřebných pro daný zdravotnický účel, musí mít uživatel možnost kontrolovat hladinu těchto emisí. Měření těchto emisí musí být prováděno ve stanovených, periodicky se opakujících intervalech, osobou k tomu způsobilou. Jestliže ZP emitují potencionálně nebezpečné viditelné i neviditelné záření, musí být opatřeny informačními displeji, popřípadě doplněné zvukovými výstrahami, které upozorňují na tyto emise. ZP musí být zkonstruovány tak, aby nežádoucí, neužitečné nebo rozptýlené záření neohrozilo vystavené osoby [26].

6.6 Vyhláška 432/2003 Sb.

Vyhláška číslo 432/2003 Sb. ze dne 4. prosince 2003 stanovuje podmínky pro zařazování prací do kategorií, limitní hodnoty ukazatelů biologických expozičních testů, podmínky odběru biologického materiálu pro provádění biologických expozičních testů a náležitosti hlášení prací s azbestem a biologickými činiteli.

U prací druhé kategorie lze očekávat jejich nepříznivý vliv na zdraví jen výjimečně. Nejsou překračovány hygienické limity faktorů stanovené zvláštními právními předpisy. Do druhé kategorie jsou zařazeny práce s lasery třídy IIIa. Dále práce, při kterých jsou osoby vystavovány ultrafialovému viditelnému nebo infračervenému záření z technologických zdrojů, jehož hodnoty překračují 30% nejvyšších přípustných hodnot, avšak nepřekračují nejvyšší přípustné hodnoty. Druhá kategorie zahrnuje i práce vykonávané v prostředí, v němž se pohybují hodnoty elektromagnetických polí o frekvenci od 0,1 Hz do 300 GHz v rozmezí 30% až 100% nejvyšších přípustných hodnot.

U prací třetí kategorie jsou překračovány hygienické limity. Expozice fyzických osob není spolehlivě snížena technickými opatřeními pod úroveň těchto limitů. Pro zajištění ochrany zdraví osob je nezbytné využívat osobní ochranné pracovní prostředky (ochranné brýle pro příslušnou vlnovou délku laserového záření), organizační (směrnice, výstražné značky) a jiná ochranná opatření (zástěny, závěsy, kryty). Třetí kategorie zahrnuje práce s lasery třídy IIIb a IV. Dále práce, při nichž jsou osoby vystavovány ultrafialovému viditelnému nebo infračervenému záření z technologických zdrojů, jehož hodnoty překračují nejvyšší přípustné hodnoty [27].

7. Třídy laserového zařízení

Rozdělení do níže uvedených tříd laserového záření je určováno harmonizovanou normou ČSN EN 60825-1, legislativními předpisy – nařízení vlády č. 1/2008 o ochraně zdraví před neionizujícím zářením a hygienickými směrnici podle parametrů emitovaného záření. Mezi základní dělicí kritéria patří hustota energie záření, vlnová délka záření, režim práce laseru (kontinuální, modulovaný, impulzní), u laserů pracujících v impulzním režimu doba jednotlivých impulzů. Správné zařazení laserového zařízení do odpovídající třídy je nezbytné pro správný a bezpečný provoz. Ze zařazení také vyplývají opatření k ochraně zdraví pracovníků. Za správnou klasifikaci laserového zařízení je zodpovědný výrobce nebo jeho zástupce v dané lokalitě.

- **Třída I** – Lasery spadající do této třídy emitují tak malé záření, že nemohou vyvolat poškození zdraví ani po libovolně dlouhé době expozice tkáně. Je možný trvalý pohled do svazku, nedochází k poškození zraku. Do této třídy patří lasery, jež jsou úplně zakrytované. Jejich záření neprotrvá ven. Pro práci s laserovým zařízením třídy I. nejsou nutná žádná zvláštní opatření
- **Třída II** – Lasery patřící do třídy II. emitují záření, nemohou vyvolat poškození zraku při nahodilém zásahu. Přímý krátkodobý pohled do zdroje je možný, oko je chráněno mrkacím reflexem. Při dlouhé úmyslné expozici by mohlo dojít k poranění zraku (sítnice). Osoby pracující s lasery II. třídy, musí být poučeny o možném riziku. Laser musí být označen předepsanou varovnou tabulkou. Viz obr. 16. Výkon je menší než 1 mW.
- **Třída IIIa** – Označení a ochrana pracovníků je řešena stejně jako u třídy II., lasery třídy IIIa nemohou způsobit poškození oka při jeho nahodilém zásahu. Pohledem do zdroje pomocí optické soustavy může být oko poškozeno. Výkon laseru nepřekračuje 5 mW.
- **Třída IIIb** – Do této třídy spadají laserová zařízení, která emitují záření v různých vlnových délkách, mohou způsobit poškození zraku při nahodilém zásahu přímým nebo zrcadlově odraženým svazkem laserového záření. Zdravotní komplikace při ozáření oka – fotochemické a tepelné poškození rohovky; ozáření pokožky způsobuje ztmavnutí pigmentu, fotosenzitivní reakce, spálení pokožky. Osoby pracující s laserovým zařízením třídy IIIb musí používat

předepsané ochranné pomůcky (ochranné brýle pro příslušnou vlnovou délku laserového záření, viz obr. 17). Nejvyšší výkon nepřesahuje 0,5 W.

- **Třída IV** – Lasery patřící do této třídy jsou charakterizovány podobně jako lasery třídy IIIb, avšak jejich výkony jsou větší, než 0,5 W. Hrozí nebezpečí nevratného poškození nejen zraku, ale i pokožky. Jsou nebezpečné zrcadlové, ale i difúzní odrazy. Příslušné legislativní a hygienické předpisy stanovují řadu technických opatření (viz kap. 8.4) směřujících k vyloučení možnosti zásahu pracovníka laserovým paprskem.

8. Provoz laserového zařízení ve zdravotnictví

Rychlý rozvoj laserových zařízení v posledních letech významně rozšířil jejich možné využití v praxi. Používání laserových zařízení v mnohých odvětvích (věda, průmysl, medicína) má i svá úskalí. Často se při jejich užívání jedná o práce, u kterých může docházet k poškození zdraví z práce, v důsledku výskytu nežádoucího vysokoenergetického záření. Jejich použití proto podléhá dodržování stanovených požadavků. Problematika bezpečnostních a hygienických podmínek pro provozování lékařských laserů je obsažena v níže uvedených normách a legislativních dokumentech.

- ČSN EN 60825-1 ed. 2 (367750) Bezpečnost laserových zařízení – Část 1: Klasifikace zařízení, požadavky a pokyny pro užívání. Norma je identická s IEC 60825-1:2007.
- ČSN EN 60601-2-22 (364800) Zdravotnické elektrické přístroje – Část 2: Zvláštní požadavky na bezpečnost diagnostických a terapeutických laserových přístrojů. Norma je identická s IEC 601-2-22:1995.
- Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2004/40/ES o minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví před expozicí zaměstnanců rizikům spojeným s fyzikálními činiteli
- Zákon 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví
- Zákon 309/2006 Sb. o zajištění dalších podmínek bezpečnosti a ochrany zdraví při práci
- Nařízení vlády č. 1/2008 o ochraně zdraví před neionizujícím zářením

8.1 Termíny

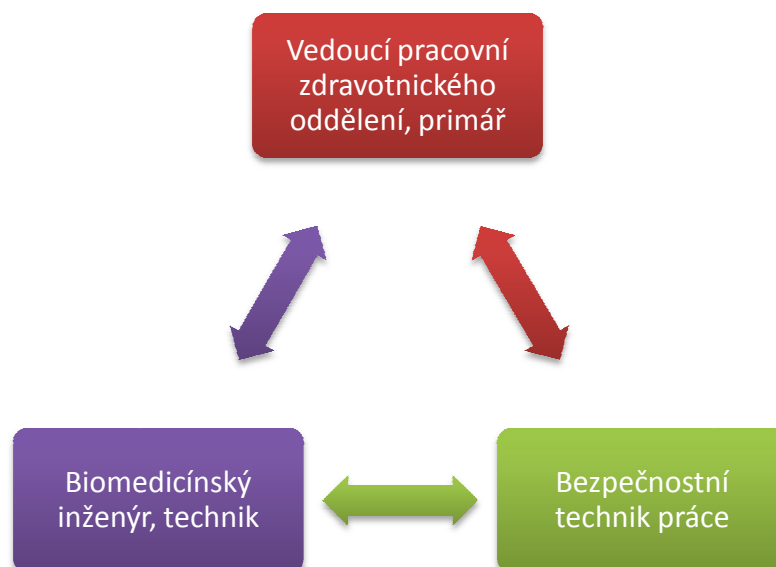
Výběr nejdůležitějších termínů vztahujících se k správnému provozu laserových zařízení ve zdravotnictví [28], [31].

- *Třída laseru* je klasifikace laseru do tříd I, II, IIIa, IIIb, IV dle ČSN EN 60825-1 a nařízení vlády č. 1/2008 o ochraně zdraví před neionizujícím zářením. Viz kapitola 7.
- *Třída rizika* je klasifikace zdravotnické prostředku podle míry rizika pro uživatele nebo třetí osoby, třídy I, IIa, IIb, III. Viz podkapitola 8.3.
- *Laser* viz kapitola 3.

- *Neionizující záření* je elektromagnetické záření, které není schopno ionizovat atomy, molekuly a elektrická magnetická pole.
- *Limit přístupné energie* neboli Accessible Emission Limit (AEL) vyjadřuje maximální úroveň emise povolené v dané třídě. Je to základní parametr pro rozdělení laserů do tříd.
- *Maximální přípustná dávka ozáření* neboli Maximum Permissible Exposure (MPE) udává úroveň laserového záření, jemuž mohou být za normálních okolností vystaveny osoby, aniž by u nich došlo k projevu nepříznivých vlivů ozáření.
- *Doba trvání vyzařování* je délka impulzu, sledu nebo řady impulzů nebo délka trvalého vyzařování, během které by mohlo dojít k ozáření osob pracujících s laserem.
- *Doba trvání ozáření* je délka impulzu, sledu nebo řady impulzů nebo délka trvalé emise laserového záření, dopadajícího na lidské tělo.
- *Difúzní odraz* světla z nerovného nebo zrnitého povrchu takový, že dopadající paprsek je zdánlivě rozložen do mnoha směrů.

8.2 Odpovědnosti a pravomoci

Odpovědnosti a pravomoci jsou rozděleny mezi následující tři funkce: *vedoucí pracovník zdravotnického oddělení*, *biomedicínský inženýr (technik)* a *bezpečnostní technik*, podrobnější popis jednotlivých funkcí je v další části textu. V některých případech, především v menších zdravotnických zařízeních, je funkce biomedicínského inženýra a bezpečnostního technika práce vykonávána jednou osobou. Aby byl zajištěn co nejbezpečnější provoz, musí být spolupráce mezi výše uvedenými pozicemi vynikající. Na obr. 15 je to přesně vystiženo [30], [31].



Obr. 15 Vzájemné propojení mezi jednotlivými pozicemi

- *Vedoucí pracovník zdravotnického oddělení – primář*, zodpovídá za léčebný proces, provoz příslušného pracoviště, za organizaci práce, ale i za metody, které jsou používány.
- *Biomedicínský inženýr* zajišťuje instalaci laseru do vyhovujících prostor. Při instalaci nového laserového zařízení informuje bezpečnostního technika práce. Spolu s bezpečnostním technikem se podílí na zabezpečení pracoviště. V neposlední řadě zajišťuje úplnost veškeré dokumentace při předání do provozu. Povinností biomedicínského inženýra je zajistit proškolení obsluhujícího personálu.
- *Bezpečnostní technik práce* zajišťuje odpovídající zabezpečení prostor umístěním výstražných značek. Dále zajišťuje stanovení třídy rizika laserového pracoviště.

8.3 Bezpečnostní požadavky a opatření pro lasery třídy I, II, IIIa

Pro lasery třídy I, II, a IIIa nejsou stanovena žádná zvláštní bezpečnostní opatření. Při použití těchto nízko-výkonových laserů je třeba dbát bezpečnostních opatření plynoucích ze zařazení laserů do tříd I, II, IIIa. Lasery třídy I by měly být naprosto bezpečné a nemělo by dojít k žádnému ublížení na zdraví laserovým paprskem. Lasery třídy II a vyšší musí být označeny příslušným symbolem, který je na obr. 16. Osoby

pracující s lasery třídy II a IIIa musí být dostatečně proškoleny a poučeny o možném riziku. Používat osobní ochranné pomůcky a nespoléhat na mrkací reflex oka. Laser třídy IIIa ve spojení s optickou soustavou (lupa, mikroskop) může vyvolat nevratné poškození zraku [31].



Obr. 16 Bezpečnostní symbol laseru třídy II a vyšší

8.4 Bezpečnostní požadavky a opatření pro lasery třídy IIIb, IV

Při práci s lasery spadající do tříd IIIb a IV je nezbytné dodržovat níže uvedené požadavky a opatření [25], [29], [31].

- Instalace laseru do prostoru zabezpečeného techniky tak, aby do něj byl zamezen vstup nepovolaných osob při chodu laseru. Tzn. vstupní dveře do místnosti, kde je používán laser, musí být blokováné, uzamčené.
- Řádné proškolení všech osob, přicházejících do styku s laserem. Viz kap. 8.1
- Přítomnost jen nezbytně nutných osob v operačním prostoru po dobu aktivního provozu laseru.
- Použití ochranných brýlí pro příslušnou vlnovou délku laseru u všech osob nacházejících se v prostoru aktivního laseru. Přehled ochranných brýlí je na obr. 17. Viz kap. 8.5 a kap. 8.6.
- Personál pracující s laserem musí absolvovat pravidelné lékařské vyšetření včetně vyšetření očního pozadí. Pro evidenci vyšetření očního pozadí byla vytvořena databázová aplikace, která sleduje a včas upozorní uživatele, zda osoby pracující s laserem mají aktuální vyšetření očního pozadí.
- Laser musí být vybaven konektorem pro dálkové blokování, indikátorem připravenosti laseru a indikátorem výskytu laserového záření.

- Vybavení laseru funkční akustickou nebo světelnou signalizací aktivovaného laserového parsku. Barva signálního světla musí být viditelná i přes ochranné brýle.
- Zabezpečení laserového zařízení proti uvedení do chodu nepovolanou osobou (bezpečnostní kód nebo klíček).
- Umístění varovných štítků (výstrah) na všech přístupech do místnosti s laserovým zařízením. Viz obr. 16 a kap. 8.2.
- Instalace světelné signalizace chodu laseru na všech vstupech. Viz obr. 18.
- Úplná technická dokumentace, která musí obsahovat informace dle Nařízení vlády číslo 1/2008 Sb.



Obr. 17 Ochranné brýle [18]



Obr. 18 Světelná signalizace chodu laseru nad vstupními dveřmi

8.5 Další bezpečnostní opatření

Mezi další bezpečnostní opatření patří i blokování laseru, to je automaticky působící zařízení spojené s každou jednotlivou částí ochranné skříně laserového zařízení, které

zabrání styku lidského organismu se zářením třídy IIIa, IIIb a IV v případě, že dojde k odstranění či otevření části ochranné skříně.

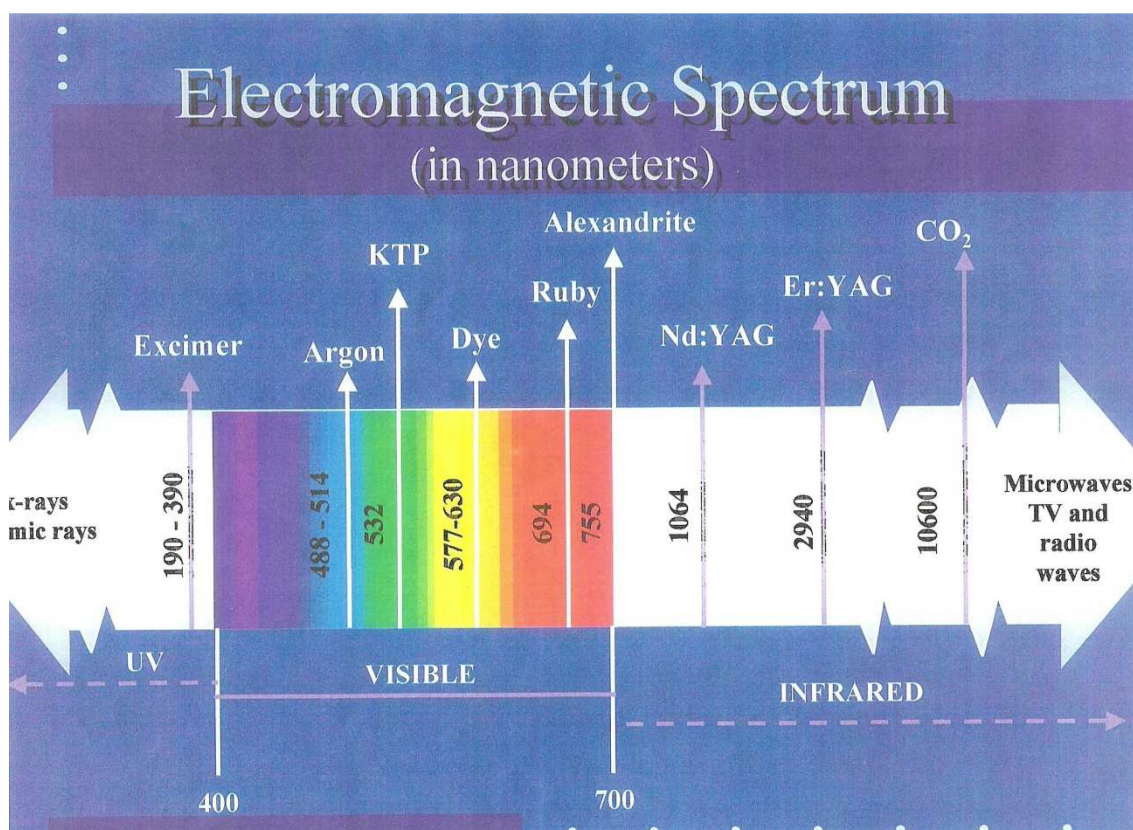
Z některých laserů může vycházet záření mimo rozsah vlnových délek 400 nm až 700 nm, takové záření není pouhým okem viditelné a proto musí být dané laserové zařízení označeno informačním štítkem s nápisem „NEVIDITELNÉ LASEROVÉ ZÁŘENÍ“. Pokud z laseru vychází záření o vlnových délkách 400nm až 700 nm, které spadá do viditelného spektra elektromagnetického vlnění, musí být laser označen informačním štítkem s nápisem „LASEROVÉ ZÁŘENÍ“ [28].

8.6 Technická dokumentace

Ke každému laseru, který patří do třídy laseru IIIb a IV musí být připojena technická dokumentace, v níž jsou uvedeny tyto nezbytné údaje pro ochranu zdraví dle § 10 Nařízení vlády číslo 1/2008 Sb. [25].

- Vlnová délka laserového záření a druh laserového aktivního prostředí. Jde-li o lasery vyzařující záření o větším počtu vlnových délek, udávají se všechny vyzařované vlnové délky. Elektromagnetické spektrum pro lepší znázornění je na obr. 19.
- Režim generování laserového záření, a to spojitý, impulsní nebo impulsní s vysokou opakovací frekvencí. Obr. 7.
- Průměr svazku záření na výstupu laseru a jeho rozbíhavost, u sbíhavého svazku také jeho nejmenší průměr.
- U laserů generujících záření ve spojitém režimu největší zářivý tok.
- U laserů generujících záření v pulzním režimu vyzařovanou energii v jednom pulzu, nejdelší a nejkratší trvání jednoho pulzu, největší a nejmenší opakovací frekvenci pulzů.
- U laserů generujících záření v pulzním režimu s vysokou opakovací frekvencí navíc ještě střední zářivý tok vystupujícího záření.
- Zařazení laserového přístroje do třídy laseru.
- Údaje o jiných faktorech než záření vznikajících při chodu laseru, které by mohly nepříznivě ovlivnit pracovní podmínky nebo zdraví.
- Návod ke správné montáži a instalaci, včetně stavebních a prostorových požadavků.

- Návod k obsluze za běžných i mimořádných situací, návod k údržbě, a je-li třeba i důležitá upozornění, jako je zákaz snímání krytu u laserů opatřených krytem nebo upozornění na nebezpečí vyplývající z přímého pozorování paprsku nebo pozorování paprsku optickými pomůckami.
- Výrobní číslo laseru a rok jeho výroby, obchodní firma nebo název a sídlo výrobce.



Obr. 19 Elektromagnetické spektrum s vybranými lasery [17]

8.7 Povinnosti vůči orgánu ochrany veřejného zdraví

Z hlediska práce s lasery (ochrany zdraví a bezpečnosti) je nutné dbát na níže uvedené fakty, které stanovuje zákon č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví a vyhláška č. 432/2003 Sb.

Práce s lasery patřícími do tříd laseru I, II a IIIa jsou zařazovány zaměstnavatelem do druhé kategorie práce. Zaměstnavatel je povinen oznámit to příslušnému orgánu ochrany veřejného zdraví.

Práce s lasery patřícími do tříd laser IIIb a IV jsou vždy zařazovány do třetí kategorie práce (práce rizikové), dle vyhlášky č. 432/2003 Sb., kterou se stanoví podmínky pro zařazování prací do kategorií, limitní hodnoty ukazatelů biologických expozičních testů, podmínky odběru biologického materiálu pro provádění biologických expozičních testů a náležitosti hlášení prací s azbestem a biologickými činiteli. Zřizovatel každého nového pracoviště, kde budou používány lasery třídy IIIb a IV musí podat návrh zařazení práce s laserem do kategorie – a to podle § 37 zákona č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví, do 30 kalendářních dnů ode dne zahájení výkonu práce [30].

Návrh zařazení práce s laserem do kategorie odevzdávaný na příslušný orgán ochrany veřejného zdraví musí obsahovat:

základní informace o zřizovateli,

- IČO, obchodní jméno, adresu zaměstnavatele, název pracoviště
- celkový počet osob pověřených prací s laserem (z toho počet žen)
- jméno s kontaktem pracovníka pověřeného k jednání

technické údaje o laserovém zařízení,

- název, výrobce, dodavatel
- třída laseru
- výkon laserové sondy v mW
- vlnová délka laserové sondy v nm
- režim generování laserového záření
- průměr svazku záření na výstupu

postup práce, ochranná opatření na pracovišti,

- na vstupních dveřích je umístěna světelná signalizace chodu laseru, viz obr. 18, dveře jsou zabezpečeny proti vstupu nepovolaných osob a jsou opatřeny předepsanými výstražnými tabulkami, viz příloha A. 1
- stěny, povrchy a předměty na pracovišti jsou zajištěny tak, aby nemohlo dojít k nekontrolovatelným odrazům laserového paprsku a k nahodilému zásahu očí nebo kůže osob přímým, zrcadlově nebo difúzně odraženým paprskem
- okna jsou zajištěna proti průniku paprsků do vnějších prostor materiálem nepropouštějícím záření dané vlnové délky

- uvedený přístroj je vybaven zvukovou nebo světelnou signalizací chodu a je zabezpečen klíčem nebo vstupním kódem proti neoprávněnému použití nepovolanou osobou
- zhodnocení zda při práci s laserem je nutné používat osobní ochranné prostředky zraku a kůže

zakázané manipulace,

- dráha paprsku a přístup k ní musí být upraveny tak, aby nemohlo dojít k nahodilému zásahu zraku nebo kůže osob přímým, zrcadlově nebo difúzně odraženým paprskem
- v průběhu provozu laseru je zakázán vstup na pracoviště nepovolaným osobám
- je zakázáno snímání ochranného krytu, demontáž laseru, jeho opravy a seřizování

zajištění preventivní ochrany pracovníků,

- vstupní, periodické v intervalu dva roky a výstupní lékařské prohlídky
- vyšetření očního pozadí
- vyšetření zraku po nahodilém zasažení oka laserem

osobní ochranné prostředky,

- všechny osoby nacházející se na laserovém pracovišti v okamžiku práce s laserem musí mít chráněn zrak a kůži ochrannými pracovními prostředky

havarijní situace.

- pokud se laserové zařízení dostane do mimořádné situace, která neodpovídá běžným provozním charakteristikám, je s přístrojem nakládáno podle technické dokumentace dané výrobcem a je kontaktováno autorizované středisko
- po jakémkoli zásahu oka laserovým paprskem je postižená osoba okamžitě vyšetřena očním lékařem

8.8 Možná ohrožení

Laserová zařízení třídy IIIb mohou způsobit zdravotní komplikace při ozáření oka a to fotochemické a tepelné poškození rohovky a sítnice. Optická soustava oka soustřeďuje svazek záření, a tím zvyšuje hustotu vyzařené energie. Lasery vyzařující ultrafialové a vzdálené infračervené záření o vlnových délkách větších než 1400 nm představují nebezpečí pro rohovku, kdežto systémy vyzařující viditelné a blízké infračervené záření o vlnových délkách 400 – 1400 nm představují nebezpečí pro sítnici

[28]. Pokud dojde k ozáření pokožky, může nastat ztmavnutí pigmentu, fotosenzitivní reakce a spálení pokožky. Laserová zařízení třídy IV jsou schopna způsobit popáleniny, řezné nebo tržné rány.

Pokud dojde k zasažení oka laserovým zářením, je vždy nutné navštívit očního lékaře a provést řádné vyšetření.

8.9 Vyšetření očního pozadí

Při vyšetření očního pozadí jsou sledovány změny na sítnici, cévnatce, cévách očního pozadí a na zrakovém nervu. K vyšetření se používá přístroj zvaný oftalmoskop. Oftalmoskop byl představen v roce 1851 německým fyziologem Hermannem Helmholtzem. Přístroj je vybaven zrcátkem a soustavou rotujících čoček, která může zvětšovat až patnáctkrát. Principem funkce je zaměřit světelné paprsky ze zdroje světla do vyšetřovaného oka pomocí zrcátka. Světlo prochází přes čočky, poté se odrazí od očního pozadí a vrací se zpět k vyšetřujícímu. Základní obraz je načervenalý, hlavní oční cévy jsou zřetelně vidět. Včasné a pravidelné kontroly očního pozadí mohou zabránit trvalé ztrátě zraku [19], [20].



Obr. 20 Vyšetření očního pozadí [21]

9. Postup pro zařazení laserového zařízení do klinického provozu

Ne všechna zdravotnická zařízení používající laserové přístroje mají stejný postup pro zařazení laseru do klinického provozu. Jsou již zdravotnická zařízení, která dokázala vytvořit ucelený návod či směrnici pro používání laserových přístrojů a na druhou stranu je stále hodně zařízení, která nemají vypracované postupy pro zařazování a používání laserových zařízení. Více o postupech je popsáno v následujících podkapitolách.

9.1 Stávající postupy

Z osobního průzkum zdravotnických zařízení, různých velikostí a kvalit bylo zjištěno, jak jsou, či nejsou vytvořeny návody a směrnice pro používání laserových zařízení.

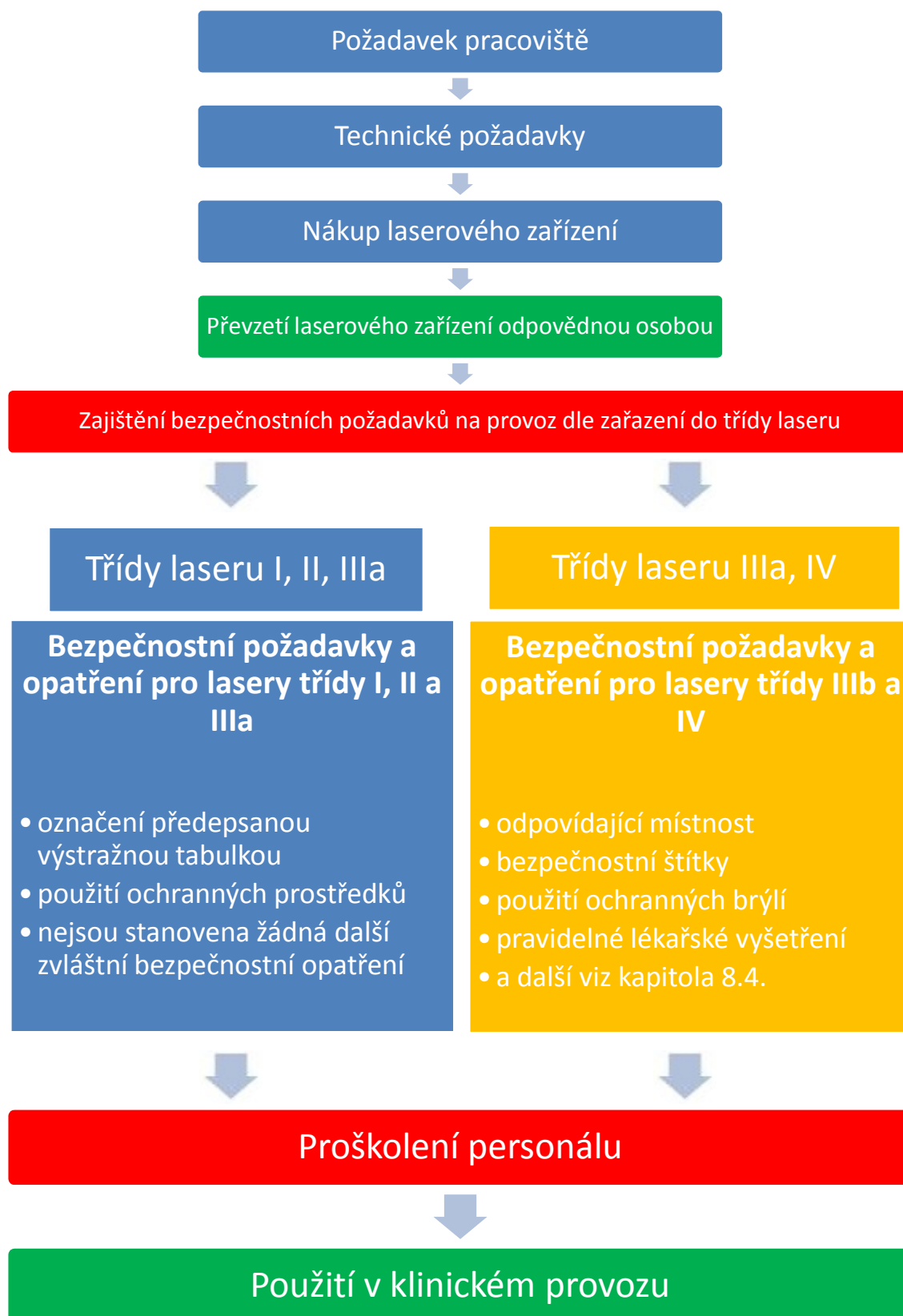
Ve zdravotnických zařízeních, která jsou akreditována, nebyl shledán nedostatek v podobě absence směrnice pro používání laserových zařízení. Akreditované zdravotnické zařízení musí mít vypracován ucelený systém vnitřních norem, kterými jsou sledovány, kontrolovány a pravidelně vyhodnocovány procesy při poskytování péče. V těchto zařízeních dochází k systematickému zvyšování odborné péče a tím se i minimalizují rizika.

Na druhé straně jsou zdravotnická zařízení menších rozměrů nebo bez akreditace, ve kterých nejsou řádně vypracované komplexní postupy a směrnice pro laserové přístroje. Po těchto zdravotnických zařízeních, pokud nežádají o akreditaci, nejsou návody a směrnice požadovány. Když není vytvořen ucelený postup, snadno může docházet k nedodržování bezpečnostních předpisů a lékařských vyšetření. V některých případech může být zanedbávána i edukace a proškolení osob přicházejících do styku s laserem, tím se zvyšuje riziko vzniku nějaké nestandardní situace. Nastane-li problém, např. zranění laserovým paprskem, příslušná kontrola (Státní ústav pro kontrolu léčiv) bude mít zájem o to, zda byla dodržena veškerá možná bezpečnostní opatření, jestli bylo postupováno podle platných nařízení a předpisů a jestli nedošlo k nějakému zanedbání. Proto by měla zdravotnická zařízení zaměstnávat biomedicínské inženýry (techniky), kteří na výše uvedené podotknou a měly by být vytvořeny ucelené směrnice, aby docházelo ke snižování rizik.

9.2 Nový návrh postupu

Nový návrh postupu pro zařazení a použití laserového zařízení do klinického provozu je komplexní návod pro zdravotnická zařízení. Zohledňuje všechny výše uvedené legislativní předpisy a normy, viz kapitoly 6 a 8.

Pro zkvalitnění provozu lékařského zařízení byl vytvořen vývojový diagram postupů, na kterém jsou zobrazeny jednotlivé kroky vedoucí k úspěšnému začlenění laserového zařízení do klinického provozu. Viz obr. 21. Tento vývojový diagram je úzce spojen se seznamem úkolů, viz příloha A. 3, které je nutné splnit před uvedením laserového zařízení do klinického provozu.



Obr. 21 Zavedení laserového zařízení do klinického provozu

V této části textu budou popsány jednotlivé kroky z výše uvedeného vývojového diagramu postupů a činnosti jednotlivých osob vztahující se k zařazení laserového zařízení (LZ) do klinického provozu:

- *požadavek pracoviště* s popisem, k čemu bude LZ používat
- *technické požadavky* na LZ
- *výběrové řízení* na nákup LZ
- *nákup LZ*
- *převzetí LZ* od dodavatele (spolu s LZ musí být dodáno prohlášení o shodě, technická dokumentace a návod k obsluze)

Do třiceti dnů od převzetí LZ je povinnost provést následující:

- *proškolení osob* (biomedicínského inženýra, lékaře) pracujících s LZ firmou, jež dodala LZ
- *zajištění bezpečnostních požadavků* na provoz, místnost (zajišťuje biomedicínský inženýr spolu s bezpečnostním technikem práce, viz kap. 8.3 a 8.4)
- *zaslat návrh o zařazení do kategorie práce*, příslušnému orgánu ochrany veřejného zdraví, viz kap. 8.7
- *kontrola* z výše uvedeného orgánu
- *proškolení další osob* pracujících s LZ, biomedicínským inženýrem

Do jednoho roku od převzetí je povinnost provést:

- *bezpečnostně technickou kontrolu (BTK)* laserového zařízení, provádí ji biomedicínský inženýr, pokud má pro tento účel potřebné vybavení. Jinak BTK zajišťuje servisní organizace.

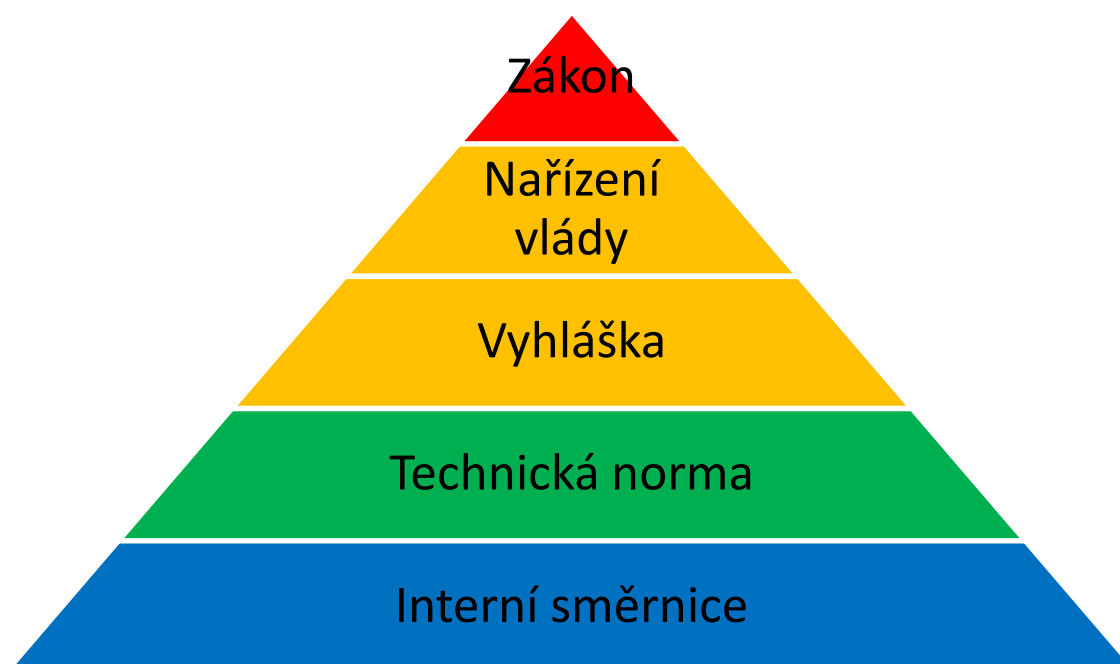
V pravidelných intervalech, určených platným právním předpisem provádět:

- *Bezpečnostně technické kontroly*
- *Lékařská vyšetření, včetně vyšetření očního pozadí*
- *Školení osob* pracujících s LZ

Při zařazování laserového zařízení do klinického provozu je potřeba brát ohled na určitou hierarchii právních předpisů a standardů. Je vhodné mít na paměti, že:

- *zákon* je zavazující právní předpis
- *nařízení vlády* je upřesňující právní předpis k zákonu vydaný vládou
- *vyhláška* je upřesňující právní předpis k zákonu vydaný ministerstvem
- *technické normy* nejsou samy o sobě právně závazné, jsou doporučující
- *směrnice* je vnitřní předpis

Pro názornost tohoto faktu je obr. 22



Obr. 22 Hierarchie právních předpisů a standardů

Vhodně vytvořená směrnice musí kombinovat všechny potřebné fakty vyňaté z příslušných zákonů, nařízení vlád, vyhlášek a technických norem. V námi řešeném případě se bude směrnice zabývat zajištěním technických požadavků, bezpečností práce a pracovními procesy. Správná směrnice pro uvedení laseru do klinického provozu a používání laseru by měla obsahovat níže uvedené detaily.

- *Název směrnice*
- *Obsah*
- *Účel* za jakým je směrnice vytvořena

- *Platnost směrnice* tzn. místo platnosti, osoby, pro které platí a datum platnosti
- *Zkratky a odborné názvy*, včetně přesných vysvětlení, viz kap. 8.1
- *Odpovědnosti a pravomoci* jednotlivých pracovníků viz kap. 8.2
- *Třídy laseru* viz kap. 7
- *Popis používaného přístroje*, kde jsou zahrnuty údaje z technické dokumentace, viz kap. 8.6
- *Bezpečnostní požadavky a opatření pro laserová zařízení dle třídy laseru*, viz kap. 8.3 a 8.4
- *Další bezpečnostní opatření* pokud nejsou zahrnuta v předchozím bodě
- *Dokumentace*, z které bylo čerpáno, viz úvodní část kapitoly 8 a související dokumentace se směrnicí.
- *Přílohy*, do příloh je vhodné zařazovat např.: tabulky limitních hodnot přístupné emise pro laserová zařízení, vzory bezpečnostních výstražných tabulek apod.

Další součástí pro provoz laserového zařízení, která vede k minimalizaci rizik je provozní deník určený pro záznamy: datum, výkon laseru, časová expozice, jména přítomných osob a jejich podpisy. Aby byl nový návrh funkční, musí být dodržována všechna výše uvedená bezpečnostní opatření a prováděny lékařské prohlídky v předepsaných intervalech.

10. Databáze

Databáze je vytvořena za účelem sledování pravidelných lékařských prohlídek očního pozadí zaměstnanců pracujících s laserovým zařízením. Výsledná databáze včasné upozorní uživatele na blížící se konec platnosti posledního vyšetření, a tím usnadní evidenci lékařských vyšetření očního pozadí pracovníků. Níže jsou uvedeny hlavní požadavky na strukturu databáze, popis funkce – návod k použití a komentář jednotlivých příkazů zdrojového kódu databáze, viz příloha A. 5.

10.1 Požadavky na DB

Mezi hlavní požadavky na databázovou aplikaci patří níže uvedené:

- možnost vkládání a editace personálu
- evidence personálu pracujícího s laserem
- výpis personálu s jeho funkcí (pracovní pozicí), oddělením a datem platnosti vyšetření očního pozadí
- možnost funkce řazení dle jména, pracovní pozice, oddělení a data platnosti
- je vyžadována lokální instalace
- jednoduché a intuitivní ovládání
- přehlednost záznamů

10.2 DB prostředí pro vývoj

Požadovaná databázová aplikace je vytvořena pomocí volně dostupného nástroje phpMyAdmin¹. Tento nástroj pracuje v jazyce PHP² a je určen pro správu databází MySQL³ prostřednictvím webového rozhraní. Vzhled výsledné databáze je vytvořen pomocí značek jazyka HTML⁴. Jako editor zdrojových kódů programovacích jazyků PHP a HTML byl použit volně dostupný program PSPad⁵.

¹ *PhpMyAdmin.cz* [online]. 2007 [cit. 2011-04-26]. PhpMyAdmin.cz. Dostupné z WWW:

<<http://phpmyadmin.cz/>>

² *Artic Studio webdesign* [online]. 2002 [cit. 2011-04-26]. Co je to PHP?. Dostupné z WWW:

<<http://www.artic-studio.net/slovnicek-pojmu/skriptovaci-jazyk-php/>>.

³ *Artic Studio webdesign* [online]. 2002 [cit. 2011-04-26]. Co je to databáze MySQL?. Dostupné z

WWW: <<http://www.artic-studio.net/slovnicek-pojmu/databaze-mysql/>>.

⁴ *Artic Studio webdesign* [online]. 2002 [cit. 2011-04-26]. Co je to HTML?. Dostupné z WWW:

<<http://www.artic-studio.net/slovnicek-pojmu/jazyk-html/>>.

⁵ *PSPad freeware editor* [online]. 2001 [cit. 2011-04-26]. Editor PSPad. Dostupné z WWW:

<<http://www.pspad.com/>>.

10.3 Popis uživatelského prostředí výsledné DB

V této podkapitole je popsáno, jak databáze vypadá, co všechno umí a jak jej ovládat. Jednotlivé popisované části uživatelského prostředí jsou doplněny obrázky.

Po spuštění aplikace se zobrazí úvodní okno se seznamem zaměstnanců. Toto okno se zobrazuje i po otevření záložky *Personál*. Obr. 23. V horní části jsou stále zobrazeny tři záložky *Personál*, *Oddělení*, *Seznam*. V zobrazeném okně je možné přidávat nové zaměstnance, provádět editaci u současných zaměstnanců, anebo smazat současného zaměstnance.



Personál	Oddělení	Seznam
Přidat personál		
Bělohávek Jan	Editovat	Smazat
Dlouhý Ivan	Editovat	Smazat
Jánská Petra	Editovat	Smazat
Kozák Martin	Editovat	Smazat
Novák Karel	Editovat	Smazat
Soukup Matěj	Editovat	Smazat
Spurná Irena	Editovat	Smazat
Urban David	Editovat	Smazat
Veselá Alena	Editovat	Smazat

Obr. 23 Úvodní zobrazení databáze

Pokud si vybereme odkaz *Přidat personál*, zobrazí se nám okno, které je znázorněno na obr. 24. V tomto okně může uživatel zadávat informace o zaměstnanci.

- Jméno, příjmení,
- Funkce – zde je výběr možný z těchto tří: *Lékař*, *Pomocný personál*, *Zdravotní sestra*
- Oddělení
- Datum vyšetření – zde uživatel uvádí datum, kdy bylo uskutečněno vyšetření očního pozadí
- Platnost – slouží pro výběr délky platnosti vyšetření očního pozadí, výběr je možný z následujících tří: *6 měsíců*, *12 měsíců*, *24 měsíců*
- Datum platnosti je automaticky dopočítán podle výběru v předchozím kroku

Pro uložení zadaných informací do databáze je nutné stisknout tlačítko *Uložit*.

[Personál](#) [Oddělení](#) [Seznam](#)

Jméno	<input type="text"/>
Příjmení	<input type="text"/>
Funkce	<input type="text"/> ▼
Oddělení	<input type="text"/> ▼
Datum vyšetření	<input type="text"/>
Platnost	<input type="text"/> ▼
Datum platnosti	<input type="text"/>
<input type="button" value="Uložit"/>	

Obr. 24 Přidat personál

Při výběru odkazu *Editovat* je uživateli zobrazeno okno z obr. 25, ve kterém je možné upravovat již zadané údaje u stávajícího zaměstnance. Pro uložení informací do databáze musí uživatel potvrdit tlačítkem *Uložit*.

[Personál](#) [Oddělení](#) [Seznam](#)

Jméno	<input type="text" value="Jan"/>
Příjmení	<input type="text" value="Bělohlávek"/>
Funkce	<input type="text" value="Lékař"/> ▼
Oddělení	<input type="text" value="Onkologie"/> ▼
Datum vyšetření	<input type="text" value="16.04.2010"/>
Platnost	<input type="text" value="12 měsíců"/> ▼
Datum platnosti	<input type="text" value="16.04.2011"/>
<input type="button" value="Uložit"/>	

Obr. 25 Editace personálu

Při otevření další záložky, která nese název *Oddělení*, se zobrazí seznam oddělení, stejně jako u personálu i zde je možné přidat nové oddělení, editovat a smazat stávající. Pro názornou ukázkou postačí dva níže uvedené obrázky. Obr. 26 a obr. 27.

[Personál](#) [Oddělení](#) [Seznam](#)

[Přidat oddělení](#)

Gynekologie	Editovat Smazat
Chirurgie	Editovat Smazat
Neurochirurgie	Editovat Smazat
Oční	Editovat Smazat
Onkologie	Editovat Smazat
Stomatologie	Editovat Smazat
Traumatologie	Editovat Smazat

Obr. 26 Seznam oddělení

Personál Oddělení Seznam	Personál Oddělení Seznam
Název <input type="text"/>	Název <input type="text" value="Gynekologie"/>
<input type="button" value="Uložit"/>	<input type="button" value="Uložit"/>

Obr. 27 Přidávání a editace oddělení

Nejdůležitější částí pro uživatele je jmenný seznam všech zaměstnanců, jejich funkce (pracovní pozice), oddělení kde pracují a datum platnosti vyšetření očního pozadí. Seznam je defaultně řazen dle data platnosti vyšetření, a to od nejbližšího vypršení platnosti po nejdelší. Personál, kterému do skončení platnosti zbývá méně jak měsíc, je označen oranžovou barvou. Personál, který má již vyšetření očního pozadí propadlé, je označen barvou červenou. Obr. 28. Výsledný seznam lze řadit abecedně podle jmen, pracovních pozic a oddělení. Řazení je možné jak vzestupné tak sestupné tendence. Pro srovnání seznamu podle vybraného kritéria stačí stisknout název sloupce [32].

Personál Oddělení Seznam

<u>Jméno</u>	<u>Pozice</u>	<u>Oddělení</u>	<u>Datum platnosti</u>
Dlouhý Ivan	Lékař	Chirurgie	18.02.2011
Bělohávek Jan	Lékař	Onkologie	16.04.2011
Kozák Martin	Lékař	Oční	05.05.2011
Jánská Petra	Zdravotní sestra	Chirurgie	06.05.2011
Soukup Matěj	Pomocný personál	Traumatologie	19.09.2011
Spurná Irena	Zdravotní sestra	Neurochirurgie	20.02.2012
Novák Karel	Lékař	Neurochirurgie	10.03.2012
Veselá Alena	Zdravotní sestra	Gynekologie	24.03.2012
Urban David	Pomocný personál	Onkologie	25.03.2012

Obr. 28 Seznam personálu

11. Závěr

Průzkumem nemocničních zařízení byly zjištěny současné postupy v zavádění laserových zařízení do klinických provozů. Byly zaznamenány dramatické rozdíly ve vnímání významu legislativních požadavků a jejich plnění zdravotnickými zařízeními.

Laserové zařízení, používané jako diagnostický či terapeutický nástroj, je třeba vnímat jako zdravotnický prostředek a zároveň jako potenciálně nebezpečné zařízení pro obsluhu, což s sebou přináší rozsáhlejší požadavky na bezpečný a správný provoz. Zároveň se potvrdilo, že ne každé zdravotnické zařízení zaměstnává správce zdravotnické techniky – biomedicínské techniky či inženýry, tj. osoby, které dohlíží na dodržování výše zmíněných zákonů a nařízení.

Tato práce si kladla za cíl postihnout všechny závazné požadavky, které je třeba splnit před uvedením jakéhokoli laserového zařízení do klinické praxe, a které je nutné i periodicky opakovat. Výstupem práce je obecně aplikovatelná směrnice, viz příloha A.4, která může být použita přímo, nebo jako vzor, pro zdravotnická zařízení, kde dosud podobný dokument chybí. Dalším výstupem pak je i databázová aplikace, která primárně slouží k evidenci periodických vyšetření očního pozadí personálu. Tato databáze tedy eviduje zaměstnance a zároveň informuje vedoucího pracovníka (primáře, vrchní nebo staniční sestru) o blížících se termínech pravidelných prohlídek. Pro drobné úpravy zdrojového kódu je možné databázi modifikovat dle aktuální potřeby pracoviště. Všechny cíle zadání jsou tedy splněny.

Přáním autora je, aby tato bakalářská práce napomohla pracovníkům ve zdravotnictví k rychlé orientaci v dané problematice a pomohla zdravotnickým zařízením ke zkvalitňování provozu.

Seznam použité literatury

- [1] Ruby laser. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 30 March 2006 , last modified on 6 March 2011 [cit. 2011-04-19]. Dostupné z WWW: <http://en.wikipedia.org/wiki/Ruby_laser>.
- [2] MAŤÁTKO, Jan . *Elektronika - lasery : kvantové generátory světla*. Vyd. 1. Praha : Idea servis, 1998. 21 s. ISBN 80-85970-21-X.
- [3] HALLIDAY, D; RESNICK, R; WALKER, J. *Fundamentals of Physics : Part 5*. 6th Edition. New York : John Wiley a Sons, 2001. ISBN 0-471-36038-4.
- [4] ROZMAN, Jiří, et al. *Elektronické přístroje v lékařství*. Vyd. 1. Praha : Academia, 2006. 408 s. ISBN 80-200-1308-3.
- [5] VRBOVÁ, Miroslava; JELÍNKOVÁ, Helena; GAVRILOV, Petr. *Úvod do laserové techniky*. Praha : Vydavatelství ČVUT, 1994. 235 s.
- [6] JELÍNKOVÁ, Helena . *Lasery v medicíně*. Praha : Vydavatelství ČVUT, 2009. 43 s.
- [7] BENEŠ, Jiří, et al. *Základy lékařské biofyziky*. Vyd. 1. Praha : Univerzita Karlova, 2006. 196 s. ISBN 80-246-1009-4.
- [8] VRBOVÁ, Miroslava. *Lasery a moderní optika*. Praha : Prometheus, 1994. 474 s. ISBN 80-85849-56-9.
- [9] Current status of clinical laser applications in periodontal therapy. *General Dentistry* [online]. Noveber - December 2008, 7, [cit. 2011-04-13]. Dostupný z WWW: <<http://www.agd.org/support/articles/?ArtID=4321>>.
- [10] Amy Shah : *Biomedical Engineering Bloc* [online]. March 4th, 2008 [cit. 2011-04-13]. What are Lasers?. Dostupné z WWW: <<http://www.amyshah.com/biomedical-electronics/what-are-lasers/>>.
- [11] *MedWOW* [online]. 2011 [cit. 2011-04-15]. Ophthalmology. Dostupné z WWW: <<http://www.medwow.com/helpnew.php?itemid=999922&pid=7&tp=Ophthalmology&action=topicsL>>.
- [12] *Laser centrum Brno* [online]. 2009 [cit. 2011-04-16]. Laserové odstranění – korekce jizev, jizviček (i po akné), vrásek . Dostupné z WWW: <<http://www.laser-centrum-brno.cz/nase-sluzby/laserove-odstraneni-korekce-jizev/>>.
- [13] Laser. In *Wikipedia : the free encyclopedia* [online]. St. Petersburg (Florida) : Wikipedia Foundation, 13. 10. 2005, last modified on 31. 3. 2011 [cit. 2011-04-16]. Dostupné z WWW: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Laser>>.

- [14] PLESCHINGER, Jiří. Neinvazivní laser ve stomatologické praxi. *Laser Partner* [online]. 8. 9. 2000, 16, [cit. 2011-04-16]. Dostupný z WWW: <<http://www.laserpartner.cz/lasp/web/cz/2000/0016.htm>>.
- [15] Laser (hygiena). In *Wikiskripta* [online]. Praha : MEFANET, 24. 10. 2010, stránka naposledy změněna 14. 4. 2011 [cit. 2011-04-16]. Dostupné z WWW: <http://www.wikiskripta.eu/index.php/Laser_%28hygiena%29>.
- [16] AVE LASER CENTRUM [online]. 2009 [cit. 2011-04-16]. Lasery Candela. Dostupné z WWW: <<http://www.avelaser.cz/cs/lasery>>.
- [17] *Best Of Both Worlds AZ* [online]. 2010 [cit. 2011-04-17]. Electromagnetic spectrum. Dostupné z WWW: <<http://bestofbothworldsaz.com/tag/electromagnetic-spectrum/>>.
- [18] *Laser SOS Group* [online]. 2011 [cit. 2011-04-18]. Laser Protective Eyewear. Dostupné z WWW: <http://www.lasersos.com/Laser_Protective_Eyewear.html>.
- [19] Oční pozadí. *ULékaře.cz* [online]. 5.7.2008, [cit. 2011-04-19]. Dostupný z WWW: <<http://www.ulekare.cz/clanek/ocni-pozadi-1349>>.
- [20] Oční pozadí. *ULékaře.cz* [online]. 1.6.2008, [cit. 2011-04-19]. Dostupný z WWW: <<http://www.ulekare.cz/clanek/ocni-pozadi-999>>.
- [21] *Indiana University School of Optometry* [online]. 2010 [cit. 2011-04-22]. Binocular Indirect Ophthalmoscopy. Dostupné z WWW: <http://www.opt.indiana.edu/clinics/pt_educ/iexam/indirect.htm>.
- [22] Česko. Zákon 123/2000 Sb. ze dne 15. dubna 2000 o zdravotnických prostředcích a o změně některých souvisejících zákonů. In *Sbírka zákonů, Česká republika*. 2000, 36. Dostupný také z WWW: <http://portal.gov.cz/wps/portal/_s.155/701?kam=zakon&c=123/2000&p=52>.
- [23] Česko. Zákon 258/2000 Sb. ze dne 14. července 2000 o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů. In *Sbírka zákonů, Česká republika*. 2000, 74. Dostupný také z WWW: <http://portal.gov.cz/wps/portal/_s.155/701?kam=zakon&c=258/2000>.
- [24] Česko. Zákon 309/2006 Sb. ze dne 23. května 2006, kterým se upravují další požadavky bezpečnosti a ochrany zdraví při práci v pracovněprávních vztazích a o zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při činnosti nebo poskytování služeb mimo pracovněprávní vztahy (zákon o zajištění dalších podmínek bezpečnosti a ochrany zdraví při práci). In *Sbírka zákonů, Česká republika*. 2006, 96. Dostupný také z WWW: <http://portal.gov.cz/wps/portal/_s.155/701?kam=zakon&c=309/2006>.

- [25] Česko. Nařízení vlády 1/2008 Sb. ze dne 12. prosince 2007 o ochraně zdraví před neionizujícím zářením. In *Sbírka zákonů, Česká republika*. 2008, 1. Dostupný také z WWW: <http://portal.gov.cz/wps/portal/_s.155/701?kam=zakon&c=1/2008>.
- [26] Česko. Nařízení vlády 336/2004 Sb. ze dne 5. května 2004, kterým se stanoví technické požadavky na zdravotnické prostředky a kterým se mění nařízení vlády č. 251/2003 Sb., kterým se mění některá nařízení vlády vydaná k provedení zákona č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky a o změně a doplnění některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů. In *Sbírka zákonů, Česká republika*. 2004, 108. Dostupný také z WWW: <http://portal.gov.cz/wps/portal/_s.155/701?kam=zakon&c=336/2004>.
- [27] Česko. Vyhláška 432/2003 Sb. ze dne 4. prosince 2003, kterou se stanoví podmínky pro zařazování prací do kategorií, limitní hodnoty ukazatelů biologických expozičních testů, podmínky odběru biologického materiálu pro provádění biologických expozičních testů a náležitosti hlášení prací s azbestem a biologickými činiteli. In *Sbírka zákonů, Česká republika*. 2003, 142. Dostupný také z WWW: <http://portal.gov.cz/wps/portal/_s.155/701?kam=zakon&c=432/2003>.
- [28] ČSN EN 60825-1. *Bezpečnost laserových zařízení*. [s.l.] : Český normalizační institut, Červen 2008. 80 s.
- [29] ČSN EN 60601-2-22. *Zdravotnické elektronické přístroje Část 2: Zvláštní požadavky na bezpečnost diagnostických a terapeutických laserových přístrojů*. [s.l.] : Český normalizační institut, 1997. 28 s.
- [30] Konzultace s Ing. Petrem Kudrnou, VFN Praha, leden – duben 2011
- [31] Konzultace s Ing. Karlem Novákem, Nemocnice Jablonec nad Nisou, duben 2011
- [32] Konzultace s Ing. Václavem Marešem, Liberec, březen 2011

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Ústav zdravotnických studií

Uvedení laserového zařízení do klinického provozu

Introduction of laser technology in clinical use

Přílohy k bakalářské práci

Autor: **Michal Sklenář**
Vedoucí práce: **Ing. Petr Kudrna**

V Liberci 2011

A.1 Bezpečnostní tabulky

Běžně používané výstražné bezpečnostní tabulky určené pro laserová pracoviště.



Další výstražné bezpečnostní tabulky



A.2 Bezpečnostní plakát

Bezpečnost na prvním místě

Při práci s lasery dodržujte vždy všechna bezpečnostní opatření.

Nejdřív myslete, poté konejte!



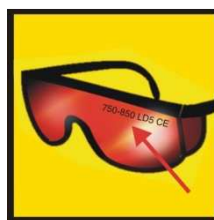
NIKDY se nedívejte do laserového paprsku ani do jeho odrazu



VŽDY dodržujte výstražné tabulky a omezení vstupu



NIKDY nedělejte neplánované pohyby



VŽDY použijte správný typ bezpečnostních ochranných brýlí



NIKDY neprotínejte laserový paprsek



VŽDY postupujte podle bezpečnostních předpisů



NIKDY nenechávejte laser v provozu bez dozoru



VŽDY proškolujte ostatní osoby

A.3 Seznam úkolů

Seznam úkolů splněných před uvedením laserového zařízení do klinického provozu

- ☐ Převzetí laserového zařízení

do 30 kalendářních dnů je nutné splnit

- ☐ Prostudování technické dokumentace k laserovému zařízení
- ☐ Proškolení osob pracujících s laserem firmou
- ☐ Podat žádost o rozhodnutí zařazení prací do kategorie orgánu ochrany veřejného zdraví
- ☐ Přijetí rozhodnutí o kontrole pracoviště o zařazení práce s laserem do kategorie
- ☐ Proškolení dalších osob přicházejících do styku s laserovým zařízením
- ☐ Provedení lékařské prohlídky včetně vyšetření očního pozadí osob pracujících s laserovým zařízením

do 1 roku je nutné splnit

- ☐ Provedení bezpečnostně technické kontroly zdravotnického přístroje

A.4 Směrnice

Obecná směrnice pro použití laserových zařízení

Směrnice je umístěna na laserovém pracovišti, na OBMI a je také k dispozici v elektronické podobě na intranetu.

1. Obsah

1. Obsah
2. Účel
3. Platnost směrnice
4. Zkratky a odborné názvy
5. Odpovědnosti a pravomoci
6. Třídy laseru
7. Popis používaného přístroje
8. Bezpečnostní požadavky a opatření pro lasery třídy I, II, IIIa
9. Bezpečnostní požadavky a opatření pro lasery třídy IIIb, IV
10. Dokumentace

Přílohy

2. Účel

Směrnice pro používání laserových zařízení naplňuje legislativní požadavky pro provozování ve zdravotnickém zařízení ... Byla vytvořena za účelem předcházení rizik a zvyšování kvality poskytované péče.

3. Platnost směrnice

Tato směrnice je součástí uceleného systému vnitřních směrnic zdravotnického zařízení ... (dále jen nemocnice nebo ...) a je závazná pro všechny zaměstnance nemocnice.

4. Zkratky a odborné názvy

... - Nemocnice ...

OBMI – oddělení biomedicínského inženýrství

OZT – oddělení biomedicínské techniky

SM – směrnice

ZP – zdravotnický prostředek

Třída laseru – je klasifikace laseru do tříd I, II, IIIa, IIIb, IV dle ČSN EN 60825-1 a nařízení vlády č. 1/2008 o ochraně zdraví před neionizujícím zářením.

Třída rizika – je klasifikace zdravotnické prostředku podle míry rizika pro uživatele nebo třetí osoby, třídy I, IIa, IIb, III.

Laser – je optický kvantový generátor elektromagnetického záření, které je typické svou monochromaticností a koherencí.

Neionizující záření – je elektromagnetické záření, které není schopno ionizovat atomy, molekuly a elektrická magnetická pole.

Limit přístupné energie – Accessible Emission Limit (AEL) vyjadřuje maximální úroveň emise povolené v dané třídě. Je to základní parametr pro rozdělení laserů do tříd.

Maximální přípustná dávka ozáření – Maximum Permissible Exposure (MPE) udává úroveň laserového záření, jemuž mohou být za normálních okolností vystaveny osoby, aniž by u nich došlo k projevu nepříznivých vlivů ozáření.

Doba trvání ozáření – je délka impulsu, sledu nebo řady impulsů nebo délka trvalé emise laserového záření, dopadajícího na lidské tělo.

Difúzní odraz – světla z nerovného nebo zrnitého povrchu takový, že dopadající paprsek je zdánlivě rozložen do mnoha směrů.

5. Odpovědnosti a pravomoci

Odpovědnosti a pravomoci jsou rozděleny mezi vedoucího pracovníka zdravotnického oddělení, OBMI, a bezpečnostního technika práce.

Vedoucí pracovník zdravotnického oddělení – primář, zodpovídá za léčebný proces, provoz příslušného pracoviště, za organizaci práce, ale i za metody, které jsou používány.

OBMI zajišťuje instalaci laseru do vyhovujících prostor. Při instalaci nového laserového zařízení informuje bezpečnostního technika práce. Spolu s bezpečnostním technikem se podílí na zabezpečení pracoviště. V neposlední řadě zajišťuje úplnost veškeré dokumentace při předání do provozu. Povinností OBMI je zajistit proškolení obsluhujícího personálu.

Bezpečnostní technik práce zajišťuje odpovídající zabezpečení prostor umístěním výstražných značek. Dále zajišťuje stanovení třídy rizika laserového pracoviště.

6. Třídy laseru

Klasifikace tříd laserového záření

Třída I – lasery jsou bezpečné za každých podmínek a nemohou způsobit poškození zdraví

Třída II – lasery vyzařují viditelné světlo a nemohou vyvolat poškození zraku při nahodilém zásahu. Nebezpečí může vzniknout při dlouhém úmyslném pohledu do svazku záření. Laserové zařízení této třídy a vyšší musí být označeno výstražnou tabulkou, viz příloha SM.

Třída IIIa – lasery nemohou vyvolat poškození zraku při nahodilém zásahu. Poškození zraku může nastat přímým sledováním laserového svazku pomocí optické soustavy.

Třída IIIb – přímý i nahodilý pohled do svazku nebo do zrcadlového odrazu je vždy nebezpečný. Je nutné používat osobní ochranné pomůcky, viz příloha SM.

Třída IV – lasery o velkých výkonech jsou nebezpečné pro nejen pro zrak, ale i pro pokožku. Je nutné používat osobní ochranné pomůcky, viz příloha SM.

Podrobný popis jednotlivých tříd laseru a limity přípustné emise pro laserová zařízení daných tříd jsou uvedeny v příloze SM

7. Popis používaného přístroje

Ke každému laserovému zařízení musí být připojena technická dokumentace, prohlášení o shodě a návod k obsluze v českém jazyce. Technická dokumentace musí obsahovat níže uvedené údaje dle § 10 Nařízení vlády číslo 1/2008 Sb.:

- Vlnová délka laserového záření a druh laserového aktivního prostředí. Jde-li o lasery vyzařující záření o větším počtu vlnových délek, udávají se všechny vyzařované vlnové délky.
- Režim generování laserového záření, a to spojitý, impulsní nebo impulsní s vysokou opakovací frekvencí.
- Průměr svazku záření na výstupu laseru a jeho rozbíhavost, u sbíhavého svazku také jeho nejmenší průměr.
- U laserů generujících záření ve spojitém režimu největší zářivý tok.
- U laserů generujících záření v pulzním režimu vyzařovanou energii v jednom pulzu, nejdelší a nejkratší trvání jednoho pulzu, největší a nejmenší opakovací frekvenci pulzů.

- U laserů generujících záření v pulzním režimu s vysokou opakovací frekvencí navíc ještě střední zářivý tok vystupujícího záření.
- Zařazení laserového přístroje do třídy laseru.
- Údaje o jiných faktorech než záření vznikajících při chodu laseru, které by mohly nepříznivě ovlivnit pracovní podmínky nebo zdraví.
- Návod ke správné montáži a instalaci, včetně stavebních a prostorových požadavků.
- Návod k obsluze za běžných i mimořádných situací, návod k údržbě, a je-li třeba i důležitá upozornění, jako je zákaz snímání krytu u laserů opatřených krytem nebo upozornění na nebezpečí vyplývající z přímého pozorování paprsku nebo pozorování paprsku optickými pomůckami.
- Výrobní číslo laseru a rok jeho výroby, obchodní firma nebo název a sídlo výrobce.

8. Bezpečnostní požadavky a opatření pro laserová zařízení třídy I, II, IIIa

Pro lasery třídy I, II, a IIIa nejsou stanovena žádná zvláštní bezpečnostní opatření. Při použití těchto nízko-výkonových laserů je třeba dbát bezpečnostních opatření plynoucích ze zařazení laserů do tříd I, II, IIIa. Lasery třídy I by měly být naprosto bezpečné a nemělo by dojít k žádnému ublížení na zdraví laserovým paprskem. Lasery třídy II a vyšší musí být označeny příslušným symbolem, viz příloha SM. Osoby pracující s lasery třídy II a IIIa musí být dostatečně proškoleny a poučeny o možném riziku. Používat osobní ochranné pomůcky a nespoléhat na mrkací reflex oka. Laser třídy IIIa ve spojení s optickou soustavou (lupa, mikroskop) může vyvolat nevratné poškození zraku.

9. Bezpečnostní požadavky a opatření pro laserová zařízení třídy IIIb, IV

Při práci s lasery spadající do tříd IIIb a IV je nezbytné dodržovat níže uvedené požadavky a opatření.

- Instalace laseru do prostoru zabezpečeného techniky tak, aby do něj byl zamezen vstup nepovolaných osob při chodu laseru. Tzn. vstupní dveře do místnosti, kde je používán laser, musí být blokováné, uzamčené.
- Řádné proškolení všech osob, přicházejících do styku s laserem.
- Přítomnost jen nezbytně nutných osob v operačním prostoru po dobu aktivního provozu laseru.
- Použití ochranných brýlí pro příslušnou vlnovou délku laseru u všech osob nacházejících se v prostoru aktivního laseru.
- Personál pracující s laserem musí absolvovat pravidelné lékařské vyšetření včetně vyšetření očního pozadí.
- Laser musí být vybaven konektorem pro dálkové blokování, indikátorem připravenosti laseru a indikátorem výskytu laserového záření.
- Vybavení laseru funkční akustickou nebo světelnou signalizací aktivovaného laserového parsku. Barva signálního světla musí být viditelná i přes ochranné brýle.
- Zabezpečení laserového zařízení proti uvedení do chodu nepovolanou osobou (bezpečnostní kód nebo klíček).
- Umístění varovných štítků (výstrah) na všech přístupech do místnosti s laserovým zařízením. Viz příloha SM.
- Instalace světelné signalizace chodu laseru na všech vstupech.
- Úplná technická dokumentace, která musí obsahovat informace dle Nařízení vlády číslo 1/2008 Sb.
- Vedení provozního deníku, který je součástí laserového pracoviště.

10. Dokumentace

Dokumenty k ZP:

Technická dokumentace laseru a návod k obsluze laserového zařízení jsou umístěny na laserovém pracovišti a kopie na OBMI.

Související dokumenty:

ČSN EN 60825-1 ed. 2 (367750) Bezpečnost laserových zařízení – Část 1: Klasifikace zařízení, požadavky a pokyny pro užívání. Norma je identická s IEC 60825-1:2007.

ČSN EN 60601-2-22 (364800) Zdravotnické elektrické přístroje – Část 2: Zvláštní požadavky na bezpečnost diagnostických a terapeutických laserových přístrojů. Norma je identická s IEC 601-2-22:1995.

Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2004/40/ES o minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví před expozicí zaměstnanců rizikům spojeným s fyzikálními činiteli

Zákon 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví

Zákon 309/2006 Sb. o zajištění dalších podmínek bezpečnosti a ochrany zdraví při práci

Nařízení vlády č. 1/2008 o ochraně zdraví před neionizujícím zářením

Příloha 1: Klasifikace tříd laseru

Třída I – Lasery spadající do této třídy emitují tak malé záření, že nemohou vyvolat poškození zdraví ani po libovolně dlouhé době expozice tkáně. Je možný trvalý pohled do svazku, nedochází k poškození zraku. Do této třídy patří lasery, jež jsou úplně zakrytované. Jejich záření neproniká ven. Pro práci s laserovým zařízením třídy I. nejsou nutná žádná zvláštní opatření

Třída II – Lasery patřící do třídy II. emitují záření, nemohou vyvolat poškození zraku při nahodilém zásahu. Přímý krátkodobý pohled do zdroje je možný, oko je chráněno mrkacím reflexem. Při dlouhé úmyslné expozici by mohlo dojít k poranění zraku (sítnice). Osoby pracující s lasery II. třídy, musí být poučeny o možném riziku. Laser musí být označen předepsanou varovnou tabulkou. Výkon je menší než 1 mW.

Třída IIIa – Označení a ochrana pracovníků je řešena stejně jako u třídy II., lasery třídy IIIa nemohou způsobit poškození oka při jeho nahodilém zásahu. Pohledem do zdroje pomocí optické soustavy může být oko poškozeno. Výkon laseru nepřekračuje 5 mW.

Třída IIIb – Do této třídy spadají laserová zařízení, která emitují záření v různých vlnových délkách, mohou způsobit poškození zraku při nahodilém zásahu přímým nebo zrcadlově odraženým svazkem laserového záření. Zdravotní komplikace při ozáření oka – fotochemické a tepelné poškození rohovky; ozáření pokožky způsobuje ztmavnutí pigmentu, fotosenzitivní reakce, spálení pokožky. Osoby pracující s laserovým zařízením třídy IIIb musí používat předepsané ochranné pomůcky (ochranné brýle pro příslušnou vlnovou délku laserového záření). Nejvyšší výkon nepřesahuje 0,5 W.

Třída IV – Lasery patřící do této třídy jsou charakterizovány podobně jako lasery třídy IIIb, avšak jejich výkony jsou větší, než 0,5 W. Hrozí nebezpečí nevratného poškození nejen zraku, ale i pokožky. Jsou nebezpečné zrcadlové, ale i difúzní odrazy. Příslušné legislativní a hygienické předpisy stanovují řadu technických opatření směřujících k vyloučení možnosti zásahu pracovníka laserovým paprskem.

Příloha 2: Výstražná značka



Příloha 3: Seznam ochranných pomůcek

Ochranné pomůcky pro bezpečnou práci s laserovým zařízením:

- ochranné brýle pro příslušnou vlnovou délku laserového záření
- ochranné prvky (zástěny, závěsy, okénka, kryty)
- výstražné značky a nápisy

Příloha 4: Tabulky přístupné emise pro jednotlivé třídy laseru

Tabulka č. 8 Limity přístupné emise pro laserová zařízení třídy I

Délka vyzařování t [s] Vlnová délka λ [nm]	$< 10^{-9}$	10^{-9} až 10^{-7}	10^{-7} až 10^{-6}	10^{-6} až $1,8 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$ až $5 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-5}$ až 10	10 až 10^3	10^3 až 10^4	10^4 až $3 \cdot 10^4$
180 až 302,5	$2,4 \cdot 10^{-5} \text{ J}$								
302,5 až 315	$7,9 \cdot 10^{-7} \text{ C}_2 \text{ J}$								
315 až 400	$7,9 \cdot 10^{-7} \text{ C}_1 \text{ J}$								
400 až 550	200 W $10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$2 \cdot 10^{-7} \text{ J}$	$7,9 \cdot 10^{-7} \text{ C}_1 \text{ J}$	$7 \cdot 10^{-4} t^{0,25} \text{ J}$	$7,9 \cdot 10^{-3} \text{ J}$	$7,9 \cdot 10^{-3} \text{ J}$	$3,9 \cdot 10^{-3} \text{ J}$	$2,1 \cdot 10^{-3} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$3,9 \cdot 10^{-7} \text{ W}$ $21 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$
550 až 700	200 W $10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$2 \cdot 10^{-7} \text{ J}$	$10^5 t^{0,33} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$7 \cdot 10^{-4} t^{0,25} \text{ J} (t < T_2)$	$3,9 \cdot 10^{-3} \text{ C}_3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} (t > T_2)$	$3,9 \cdot 10^{-3} \text{ C}_3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} (t > T_2)$	$3,9 \cdot 10^{-3} \text{ C}_3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} (t < T_2)$	$3,9 \cdot 10^{-3} \text{ C}_3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$3,9 \cdot 10^{-7} \text{ C}_3 \text{ W}$ $21 \text{ C}_3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$
700 až 1050	200 $\text{C}_4 \text{ W}$ $10^{11} \text{ C}_4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$2 \cdot 10^{-7} \text{ C}_4 \text{ J}$	$10^5 t^{0,33} \text{ C}_4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$7 \cdot 10^{-4} t^{0,25} \text{ C}_4 \text{ J}$	$7 \cdot 10^{-4} t^{0,25} \text{ C}_4 \text{ J}$	$3,9 \cdot 10^{-3} t^{0,25} \text{ C}_4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$3,9 \cdot 10^{-3} t^{0,25} \text{ C}_4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$1,2 \cdot 10^{-4} \text{ C}_4 \text{ W}$ $6,4 \cdot 10^3 \text{ C}_4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$1,2 \cdot 10^{-4} \text{ C}_4 \text{ W}$ $6,4 \cdot 10^3 \text{ C}_4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$
1050 až 1400	$2 \cdot 10^3 \text{ W}$ $5 \cdot 10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$2 \cdot 10^{-6} \text{ J}$	$5 \cdot 10^5 t^{0,33} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$3,5 \cdot 10^{-3} t^{0,25} \text{ J}$	$1,9 \cdot 10^3 t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$1,9 \cdot 10^3 t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$1,9 \cdot 10^3 t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$6 \cdot 10^4 \text{ W}$ $3,2 \cdot 10^4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$	$6 \cdot 10^4 \text{ W}$ $3,2 \cdot 10^4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$
1400 až 1530	$8 \cdot 10^4 \text{ W}$	$8 \cdot 10^{-5} \text{ J}$	$4,4 \cdot 10^{-3} t^{0,25} \text{ J}$	$4,4 \cdot 10^{-3} t^{0,25} \text{ J}$	$8 \cdot 10^{-4} \text{ W}$				
1530 až 1550		$8 \cdot 10^{-5} \text{ J}$	$4,4 \cdot 10^{-3} t^{0,25} \text{ J}$	$4,4 \cdot 10^{-3} t^{0,25} \text{ J}$					
1550 až 10^5		10^{-2} J	$0,56 t^{0,25} \text{ J}$	$0,56 t^{0,25} \text{ J}$					
10^5 až 10^6	10^7 W	10^{-2} J	$0,56 t^{0,25} \text{ J}$	$0,56 t^{0,25} \text{ J}$	$0,1 \text{ W}$				

Tabulka č. 9 Limity přístupné emise pro laserová zařízení třídy II

Vlnová délka λ [nm]	Délka vyzařování t [s]	Limit přístupné emise
400 až 700	$t < 0,25$	stejně jako pro třídu I
	$t \geq 0,25$	10^{-3} W

Tabulka č. 10 Limity přístupné emise pro laserová zařízení třídy IIIa

Délka vyzářování t [s]		$< 10^{-9}$	10^{-9} až 10^{-7}	10^{-7} až 10^{-6}	10^{-6} až $1,8 \cdot 10^{-5}$	$1,8 \cdot 10^{-5}$ až $5,10^{-5}$	$5,10^{-5}$ až $0,25$	$0,25$ až 10	10 až 10^4	10^4 až $3 \cdot 10^4$
Vlnová délka λ , [nm]										
180 až 302,5		$3 \cdot 10^{10} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$30 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$							
302,5 až 315		$1,2 \cdot 10^5 \text{ W}$ a $3 \cdot 10^{10} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$4 \cdot 10^{-6} C_1 \text{ J}$ a $C_1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$(t > t_1) \quad 4 \cdot 10^{-5} C_2 \text{ J}$ a $C_2 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$				$4 \cdot 10^{-5} C_2 \text{ J}$ a $C_2 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		
315 až 400		$3 \cdot 10^{10} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$4 \cdot 10^{-6} C_1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ a $C_1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$							
400 až 700		1000 W a $5 \cdot 10^6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	10^{-6} J $5 \cdot 10^{-3} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$3,5 \cdot 10^{-5} \cdot t^{0,25} \text{ J}$ $18 \cdot C_1 \cdot t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$5 \cdot 10^{-3} \text{ W}$ a $25 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$		$4 \cdot 10^{-2} \text{ J}$ a $10^1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$4 \cdot 10^{-5} \text{ W}$ a $10 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	
700 až 1050		$1000 \cdot C_4 \text{ W}$ a $5 \cdot 10^6 \cdot C_4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$10^6 \cdot C_4 \text{ J}$ a $5 \cdot 10^{-3} \cdot C_4 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$3,5 \cdot 10^{-5} \cdot C_4 \cdot t^{0,25} \text{ J}$ a $18 \cdot C_4 \cdot t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$6 \cdot 10^{-3} \cdot C_4 \text{ W}$ a $3,2 \cdot C_4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$		$3 \cdot 10^{-3} \text{ W}$ a $16 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$		
1050 až 1400		10^4 W a $5 \cdot 10^2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	10^{-3} J a $5 \cdot 10^{-2} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$1,8 \cdot 10^{-3} \cdot t^{0,25} \text{ J}$ a $90 \cdot t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$4 \cdot 10^{-5} \text{ W}$ a $1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$		$1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$		
1400 až 1530		$4 \cdot 10^4 \text{ W}$ a $10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$4 \cdot 10^{-4} \text{ J}$ a $100 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$2,2 \cdot 10^{-2} \cdot t^{0,25} \text{ J}$ a $5600 \cdot t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$4 \cdot 10^{-5} \text{ W}$ a $1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$		$1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$		
1530 až 1550			$1,0 \cdot 10^1 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$2,2 \cdot 10^{-2} \cdot t^{0,25} \text{ J}$ a $5600 \cdot t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$4 \cdot 10^{-5} \text{ W}$ a $1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$		$1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$		
1550 až 4000			$4 \cdot 10^{-4} \text{ J}$ a $100 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$2,2 \cdot 10^{-2} \cdot t^{0,25} \text{ J}$ a $5600 \cdot t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$4 \cdot 10^{-5} \text{ W}$ a $1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$		$1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$		
4000 až 10^6		$10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$100 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	$5600 \cdot t^{0,25} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$		$1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$		$1000 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$		

Tabulka č. 11 Limity přístupné emise pro laserová zařízení třídy IIIb

<div> Délka vyzařování t [s] </div> <div> Vlnová délka [nm] </div>	$< 10^{-9}$	10^{-9} až 0,25	0,25 až $3 \cdot 10^4$
180 až 302,5	$3,8 \cdot 10^5 \text{ W}$	$3,8 \cdot 10^{-4} \text{ J}$	$1,5 \cdot 10^{-5} \text{ W}$
302,5 až 315	$1,25 \cdot 10^4 C_2 \text{ W}$	$1,25 \cdot 10^{-5} C_2 \text{ J}$	$5 \cdot 10^{-5} C_2 \text{ W}$
315 až 400	$1,25 \cdot 10^8 \text{ W}$	0,125 J	0,5 W
400 až 700	$3,14 \cdot 10^{11} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$3,14 \cdot 10^5 t^{0,35} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ a $< 10^5 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	0,5 W
700 až 1050	$3,14 \cdot 10^{11} C_4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$3,14 \cdot 10^5 C_4 t^{0,35} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ a $< 10^5 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	0,5 W
1050 až 1400	$1,57 \cdot 10^{12} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$1,57 \cdot 10^6 t^{0,35} \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$ a $< 10^5 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	0,5 W
1400 až 10^6	$10^{14} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$	$10^5 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2}$	0,5 W

Tabulky č. 8 – 11 byly převzaty z:

ČSN EN 60825-1 ed. 2 (367750) Bezpečnost laserových zařízení – Část 1: Klasifikace zařízení, požadavky a pokyny pro užívání.

A.5 Zdrojový kód

V této příloze jsou komentovány vybrané části zdrojových kódů jednotlivých skriptů databázové aplikace

1. Skript s názvem *fiction.php* slouží k připojení k databázi a načtení hodnot z ní.

```
//připojení k databázi
mysql_connect("localhost", "root", "");
mysql_query("SET NAMES 'utf8'" ) or die('Could not set names');
mysql_select_db("Laser");

//výběr hodnot z databáze
function db_dotaz($dotaz) {
    $dotaz = trim($dotaz);
    $vysledek = mysql_query($dotaz);
    if(!$vysledek)
        echo "Chyba při dotazu \"$dotaz\" do databáze.<br> Řádek: ".__LINE__.
            "<br> Skript: ".__FILE__."<br><br>".mysql_error();
    if(substr(strtolower($dotaz),0,6)=="select") {
        while ($radek = mysql_fetch_array($vysledek))
            $obsah[] = $radek;
        return $obsah;
    }
}
```

2. Skript s názvem *index.php* slouží pro základní výpis a umožňuje uživateli přecházet mezi funkcemi: Personál, Oddělení, Seznam

```
require './functions.php'; //volání souboru s deklaracemi funkcí
?>
<!DOCTYPE HTML PUBLIC "-//W3C//DTD HTML 4.01 Transitional//EN"
"http://www.w3.org/TR/html4/loose.dtd">
<html>
  <head>
    <meta http-equiv="Content-Language" content="cs">
    <meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=utf-8">
    <link rel="stylesheet" type="text/css" href="css/styl.css">
    <title>Vyšetření očního pozadí</title>
  </head>
  <body>
    <div align="center">
      <a href="<?=$_SERVER['PHP_SELF']?>?pg=lekar">Personál</a>
      <a href="<?=$_SERVER['PHP_SELF']?>?pg=oddeleni">Oddělení</a>
      <a href="<?=$_SERVER['PHP_SELF']?>">Seznam</a>
    </div>
    <?php
      //přepínač-menu => volání požadovaných skriptů, funkcí
      switch ($_GET['pg']) {
        default:
          require 'vypis.php'; // defaultně je nastaven seznam personálu
          break;
        case "lekar":
          require 'lekar.php'; //výpis personálu
          break;
        case "oddeleni":
          require 'oddeleni.php'; //výpis oddělení
          break;
      }
    ?>
  </body>
</html>
```


3. Skript s názvem *lekar.php* slouží k celkové správě informací o jednotlivých zaměstnancích. První část zajišťuje načítání personálu a požadované operace (uložení nebo smazání) pokud je vybrána. Pokud není vybrána žádná operace, zobrazí se jmenný seznam zaměstnanců.

```
$id = intval($_REQUEST['id']); //načtení ID personálu
$a = $_REQUEST['a']; //načtení požadované operace

//v případě, že se má být vykonána operace "uložit" ,
// nebo "smazat" musí dojít k načtení funkcí
if($a == 'ulozit' || $a == 'smazat'){
    require('./functions.php');
}

if(empty($a)){
    //v případě, že není požadována žádná operace (změnit,uložit,smazat)
    //dojde k vypsání všech zaměstnanců
    $data = db_dotaz("SELECT * FROM lekari ORDER BY prijmeni,jmeno");
    ?>
    <p align="center">
    <a href="<?=$_SERVER['PHP_SELF']>?pg=lekar&a=zmenit">Přidat personál</a></p>
    <p></p>
    <table border="0" align="center">
        <?php
        //vypsání personálu
        if (is_array($data)) foreach($data as $row) {
            ?>
            <tr>
                <td><?=$row['prijmeni']. " " . $row[jmeno] ?></td>
                <td></td>
                <td><a href='?pg=lekar&id=<?=$row['id']>?&a=zmenit'>Editovat</a></td>
                <td><a href='lekar.php?id=<?=$row['id']>?&a=smazat'>Smazat</a></td>
            </tr>
        <?php
        }
        ?>
    </table>
```

Pokud uživatel vybere možnost *Změnit*, dojde k načtení všech záznamů z databáze. Poté se zobrazí editační pole pro úpravu záznamů.

```
<?php
}elseif($a == 'zmenit'){
    if($id){
        //načtení záznamů personálu, které odpovídají předávanému ID
        $data = db_dotaz("SELECT * FROM lekari WHERE id = '$id'");
    }
    //načtení oddělení z databáze
    $oddeleni = db_dotaz("SELECT * FROM oddeleni ORDER BY nazev");
    //načtení pozic z databáze
    $pozice = db_dotaz("SELECT * FROM pozice ORDER BY nazev");
    //načtení vyšetření
    $zkousky_lekare = db_dotaz("SELECT * FROM lekari2zkousky WHERE lekar = '$id'");
    $z = array();

    //vypsání editačního pole pro úpravu záznamů
    ?>
```

Poslední část skriptu *lekar.php* po zvolení operace *Uložit* zajistí úpravu a uložení nových záznamů do databáze. Pokud je vybrána operace *Smazat*, dojde k smazání personálu.

```
<?php
}elseif($a == 'ulozit'){
    if($id){
        //úprava záznamů personálu, kterému odpovídá předávané ID
        $q = "UPDATE lekari SET jmeno='".$_REQUEST['jmeno']."' ,prijmeni='".$_REQUEST['prijmeni']."' ,pozice='".$_REQUEST['pozice']."' ,oddeleni='".$_REQUEST['oddeleni']."' WHERE id = '$id'";
        db_dotaz($q);
    }else{
        //uložení nových záznamů
        $q = "INSERT INTO lekari SET jmeno='".$_REQUEST['jmeno']."' ,prijmeni='".$_REQUEST['prijmeni']."' ,pozice='".$_REQUEST['pozice']."' ,oddeleni='".$_REQUEST['oddeleni']."'";
        db_dotaz($q);
        $id = mysql_insert_id();
    }
    //odstranění záznamu o vyšetření => ošetření duplicit
    db_dotaz("DELETE FROM lekari2zkousky WHERE lekar = '$id'");

    //vytvoření datumu platnosti (datum_vysetreni+datum_platnosti)
    $mujcas=datum2date($_REQUEST['datum_vysetreni']);
    $novycas=date("Y-m-d",strtotime(" $mujcas + ".$_REQUEST['platnost']." "));

    //uložení nových informací o vyšetření
    db_dotaz("INSERT INTO lekari2zkousky SET lekar = '$id', zkouska = '$k', datum_vysetreni = '$mujcas', datum_platnosti = '$novycas'");
    redir("index.php?pg=lekar"); //přesměrování
}elseif($a == 'smazat'){
    //vymazání personálu z databáze
    db_dotaz("DELETE FROM lekari WHERE id = '$id'");
    redir();
}
?>
```

4. Skript s názvem *oddeleni.php* slouží ke správě jednotlivých oddělení. Zajišťuje jejich tvorbu, editaci a ukládání do databáze.

```
$id = intval($_REQUEST['id']); //načtení ID a převod řetězce na číslo
$a = $_REQUEST['a']; //načtení požadované operace

//v případě, že se má být vykonána operace "uložit" ,
//nebo "smazat" musí dojít k načtení funkcí
if($a == 'ulozit' || $a == 'smazat'){
    require('./functions.php'); //volání souboru s deklaracemi funkcí
}
if(empty($a)){
    //v případě, že není požadována žádná operace (změnit,uložit,smazat)
    //dojde k vypsání všech oddělení
    $data = db_dotaz("SELECT * FROM oddeleni ORDER BY nazev");
    ?>
    <p align="center">
    <a href="<?=$_SERVER['PHP_SELF']?>?pg=oddeleni&a=zmenit">Přidat oddělení</a></p>
    <p></p>
    <table border="0" align="center">
        <?php
            if (is_array($data)) foreach($data as $row) {
                ?>
                <tr>
                    <td><?=$row['nazev']?></td>
                    <td></td>
                    <td><a href='?pg=oddeleni&id=<?=$row['id']?>&a=zmenit'>Editovat</a></td>
                    <td><a href='oddeleni.php?id=<?=$row['id']?>&a=smazat'>Smazat</a></td>
                </tr>
            <?php
        }
    </table>
    <?php
```

Poslední část tohoto skriptu zajišťuje uložení do databáze.

```
<?php
}elseif($a == 'ulozit'){

    if($id){
        //úprava názvu oddělení, kterému odpovídá předávané ID
        $q = "UPDATE oddeleni SET nazev = '". $_REQUEST['nazev']."' WHERE id = '$id'";
    }else{
        //uložení nového oddělení
        $q = "INSERT INTO oddeleni SET nazev = '". $_REQUEST['nazev']."'";
    }
    db_dotaz($q); //dotaz na databázi

    redirect("index.php?pg=oddeleni"); //přesměrování
}elseif($a == 'smazat'){
    //vymazání oddělení z databáze
    db_dotaz("DELETE FROM oddeleni WHERE id = '$id'");
    redirect();
}
?>
```

5. Skript s názvem *vypis.php* zajišťuje výpis konečného seznamu všech zaměstnanců jejich pracovních pozic, oddělení a data platnosti vyšetření očního pozadí. Tento skript také zajišťuje třídění dle vybraných parametrů.

```
$type_db = ($_GET['type'] == "desc") ? "desc" : "asc";

// přepínač třídění
switch($_GET['ord']){
    case "jmeno":
        $ord = "jmeno";
        break;
    case "pozice":
        $ord = "pozice.nazev";
        break;
    case "oddeleni":
        $ord = "oddeleni.nazev";
        break;
    case "platnost":
        default:
        $ord = "datum_platnosti";
        break;
}
```

V další části skriptu je dotaz na databázi

```
//dotaz na databázi
$data = db_dotaz("
SELECT
    CONCAT(lekari.prijmeni, ' ', lekari.jmeno) AS jmeno,
    pozice.nazev AS pozice,
    oddeleni.nazev AS oddeleni,
    datum_platnosti
FROM
    lekari
LEFT JOIN
    oddeleni ON lekari.oddeleni=oddeleni.id
LEFT JOIN
    pozice ON lekari.pozice=pozice.id
LEFT JOIN
    lekari2zkousky ON lekari.id=lekari2zkousky.lekar
WHERE datum_platnosti != '0000-00-00'
ORDER BY
    $ord $type_db
");
```


Poslední část skriptu *vypis.php* zajišťuje zbarvení řádku se záznamy personálu oranžovou barvou, pokud je platnost vyšetření očního pozadí kratší než jeden měsíc a červenou barvou, pokud je platnost straší než aktuální datum.

```
<?php

$now = time(); //načtení aktuálního času
$alert = 3600*24*30; //převod měsíce na počet sekund
//vypis personálu
if (is_array($data)) foreach($data as $row) {
    //rozdělení řetězce, oddělovačem "-"
    list($y,$m,$d) = explode("-", $row['datum_platnosti']);
    $platnost = mktime(23, 59, 59, $m, $d, $y);
    ?>
    <tr <?=( $platnost < $now ) ? "bgcolor = '#ff0000'" : ""?>
    <?=( $platnost-$now < $alert) ? "bgcolor = '#ffcc00'" : ""?>>
        <td><?=$row['jmeno']?></td>
        <td><?=$row['pozice']?></td>
        <td><?=$row['oddeleni']?></td>
        <td><?=date2datum($row['datum_platnosti'])?></td>
    </tr>
    <?php
}
?>
```